



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



DISSERTAÇÃO

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM ANTROPOSSOLO SOB
UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO SEMIÁRIDO**

Orientado: Denisvaldo Artur de Meireles

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia da Silva Fraga

AREIA- PB
AGOSTO – 2019

DENISVALDO ARTUR DE MEIRELES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM ANTROPOSSOLO SOB
UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO SEMIÁRIDO**

AREIA- PB

AGOSTO – 2019

DENISVALDO ARTUR DE MEIRELES

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM ANTROPOSSOLO SOB
UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Vânia da Silva Fraga

AREIA – PB
AGOSTO DE 2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M514a Meireles, Denisvaldo Artur de.

Atributos químicos e biológicos de um
Antropossolo sob utilização de água residuária tratada
no Semiárido / Denisvaldo Artur de Meireles. - Areia,
2019.
61 f. : il.

Orientação: Vânia da Silva Fraga.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Semiárido paraibano. 2. Propriedades
químicas. 3. Biologia do solo. I. Fraga, Vânia da
Silva. II. Título.

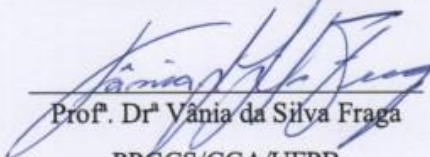
UFPB/CCA-AREIA

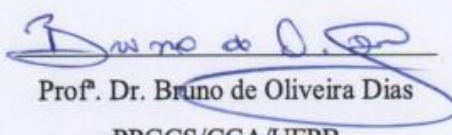
DENISVALDO ARTUR DE MEIRELES

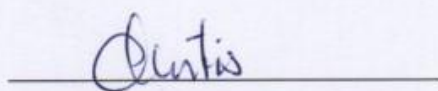
**ATRIBUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE UM ANTROPOSSOLO SOB
UTILIZAÇÃO DE ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA NO SEMIÁRIDO**

Aprovada em 20/08/2019

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr.ª Vânia da Silva Fraga
PPGCS/CCA/UFPB
Orientadora


Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
PPGCS/CCA/UFPB
Examinador Interno


Dr. Emannel Lima Martins
MCTI/INSA
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque “**Até aqui nos ajudou o SENHOR.**” (1 Samuel 7:12.)

Aos meus pais, **Sonia Maria Artur de Meireles e Derivaldo Rodrigues de Meireles**, que com tão pouco, trabalhando como feirantes e na agricultura conseguiram me dar o muito. E me ensinaram os verdadeiros valores da vida: **amor, carinho, educação** e o mais importante, a **humildade**. A minha irmã Danúbia Artur de Meireles, sempre presente no que foi possível durante essa etapa da vida.

A minha orientadora **Vânia da Silva Fraga**, que cumpriu com seu papel, me orientou brilhantemente durante a graduação e mestrado. Hoje servindo como exemplo que levo para minha vida.

A minha turma do PPGCS, sempre juntos durante as disciplinas, além de colegas somos irmãos, sempre disponíveis a ajudar um ao outro!

Aos membros do Centro de Ciências Agrárias, na pessoa do coordenador do curso de agronomia Bruno Oliveira Dias, ao Departamento de Ciências do Solo e Engenharia Rural na pessoa de Raphael, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo na pessoa da coordenadora Vânia da Silva Fraga. E todos do Lab-MOS (Laboratório de Matéria Orgânica do solo). Pelo acolhimento a mim, prestado durante a carreira acadêmica.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) na pessoa do diretor Salomão Medeiros, onde tive todo o apoio técnico para efetuação da pesquisa.

Ao ONDACBC (Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono), aprovado na chamada pública MCTI/CNPQ/CAPES/FAPS Nº 16/2014 PROGRAMA INCT, (FACEPE APQ Nº 0498-3.07/17; CNPq Nº 465764/2014-2; CAPES Nº 88887.136369/2017-00), pelo financiamento das análises químicas e físicas de solo e tecido vegetal.

DEDICO

A Deus, que sempre esteve comigo nos piores e melhores momentos.

Minha família, que sempre confiou na minha capacidade.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1- INTRODUÇÃO	12
2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1- Degradações de solos no semiárido	13
2.2- Recuperação de solos degradados pelo uso de água residuária.....	14
2.3- Potencial econômico na recuperação de áreas degradadas de sistemas agroflorestais (Palma e Florestais)	17
2.4- Influência da água residuária na atividade biológica do solo	19
3- MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1- Caracterização da área de estudo.....	20
3.2 - Caracterização das águas	21
3.3- Aporte de nutrientes da água residuária	22
3.4- Amostragem e caracterização inicial do solo	22
3.5- Amostragem e caracterização final do solo	23
3.6- Condições climáticas durante experimento.....	24
3.7 EXPERIMENTO I.....	26
3.7.1- Delineamento experimental.....	24
3.7.2- Implantação das espécies vegetais.....	25
3.7.3- Análises estatísticas I	27
3.8- EXPERIMENTO II	27
3.8.1- Delineamento experimental.	27
3.8.2- Respiração basal do solo (RBS).....	27
3.8.3- Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)	28
3.8.4- Quociente metabólico (qCO ₂).....	29
3.8.5- Análises estatísticas II	29
4- RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1- Experimento I	30
4.1.1- Alterações químicas no solo	30
4.2- Crescimentos vegetativos da espécie forrageira e florestais	37
4.2.1- Palma forrageira.....	37
4.2.2- Espécies Florestais.....	38

4.3 Experimento II	41
4.3.1- <i>Respiração basal do solo (RBS)</i>	41
4.3.2- <i>Carbono da biomassa microbiana (CBM)</i>	43
4.3.3- <i>Quociente metabólico (qCO_2)</i>	45
5- CONCLUSÕES	46
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da caracterização físico-química da água residuária e de abastecimento.

Tabela 2. Atributos químicos de um Antropossolo em área de empréstimo no semiárido Paraibano em profundidade de 0-20 cm, antes da aplicação das lâminas de água residuária.

Tabela 3 - Caracterização do Antropossolo em área de empréstimo no semiárido Paraibano, após um ano de irrigação com diferentes lâminas e tipos de água.

Tabela 4 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de pH no Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

Tabela 5 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de matéria orgânica do solo (MOS) e Nitrogênio total (N) no Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas

Tabela 6 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de fósforo (P) no Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

Tabela 7 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

Tabela 8 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Alumínio e Hidrogênio + Alumínio em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

Tabela 9 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

Tabela 10 - Quadrado médio das variáveis de Palma forrageira

Tabela 11 – Médias (n= 10) das variáveis de crescimento da Palma forrageira (....) em relação lâminas aplicadas.

Tabela 12 – Análise de variância de altura total e diâmetro de base de espécie florestal (sabiá), sob irrigação de água residuária e de abastecimento.

Tabela 13 – Análise de variância de diâmetro da altura do peito de espécie florestal (sabiá), sob irrigação de água residuária e de abastecimento.

Tabela 14 – Análise de variância da respiração basal acumulada de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.

Tabela 15 – Teste de médias da respiração basal acumulada de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Campo experimental de água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba, antes do corte. Fonte: INSA

Figura 2. Delineamento experimental e distribuição de tratamentos em um Antropossolo com aplicação de água residuária tratada

Figura 3. Corte da palma no campo experimental de água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA.

Figura 4. Biometria em palma forrageira no campo experimental de água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA

Figura 5. Biometria em sabiá no campo experimental de água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA

Figura 6. Estação de tratamento primário de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA.

Figura 7 - Pluviosidade mensal e temperatura média mensal do campo experimental, no INSA – Campina Grande PB durante o ano de 2018 até o fim da pesquisa em campo.

Figura 8 – (A) - Altura de sabiá e (B) diâmetro de base em sistema agroflorestal irrigadas com diferentes lâminas e tipos de água.

Figura 9 – Diâmetro da altura de peito de sabiá em sistema agroflorestal irrigadas com diferentes lâminas e tipos de água.

Figura 10 – Gráficos de respiração basal, e acumulada do Antropossolo em plantio de palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.

Figura 11 – Gráficos de respiração basal mensal, de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.

Figura 12 – Gráfico de carbono da biomassa microbiana (CBM) em Antropossolo em plantio de palma forrageira e florestais (sabiá), sob diferentes tipos de irrigação.

Figura 13 – Quociente metabólico de Antropossolo sob plantio de palma forrageira e sabiá, sob diferentes tipos de irrigação.

MEIRELES, D. A. **Atributos químicos e biológicos de um Antropossolo sob utilização de água residuária tratada no semiárido.** Areia, 2019, 61p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia da Silva Fraga.

RESUMO

A escassez de água cresce a cada dia, principalmente nas regiões semiáridas. Consequentemente, a quantidade de água subterrânea usada na agricultura é estritamente limitada, e tornou-se necessário explorar fontes alternativas de água. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da água residuária tratada na recuperação da fertilidade de um Antropossolo e no crescimento vegetativo de Palma forrageira e florestal, além de determinar a respiração basal, carbono da biomassa microbiana e quociente metabólico de um Antropossolo, após um ano com irrigação com água residuária. O experimento foi conduzido em uma área 780m² no semiárido paraibano em um arranjo experimental de blocos casualizados, com dez repetições, três espécies vegetais e três tratamentos, correspondentes ao tipo e volume de águas utilizadas: T0= Sem irrigação, T1 = 500 ml de água abastecimento-AA, T2 = 500 ml de água residuária-AR, T3 = 1000 ml de água residuária-AR. Foi instalado um sistema agroflorestal consorciado com 1560 raquetes de palma forrageira: Orelha de elefante mexicana (*Opuntia tuna*) e 195 mudas de 2 espécies florestais: Sabiá (*Mimosa ceasalpinifolia* Benth) e Aroeira-Branca (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), plantadas em fila dupla. Foram investigadas variáveis biométricas na palma forrageira e na espécie florestal sabiá. O solo foi coletado antes e depois da aplicação da irrigação, e analisado quanto seus atributos químicos e biológicos. Nos parâmetros químicos do solo, observou-se contrastes significativos apenas para pH, Matéria Orgânica, CTC, e Soma de Bases. O pH inicial foi classificado como neutro, mudando para uma acidez fraca, após a aplicação dos tratamentos. Os teores de MOS, aumentaram significativamente após utilização de AR. Em relação à CTC verificase que as parcelas que receberam as doses de AR apresentam os maiores valores, quando comparadas com as parcelas que receberam AA. Em relação ao crescimento vegetativo, o tratamento com 1000 ml de água residuária semanalmente, respondeu melhor em todas as variáveis de palma forrageira, onde obteve uma média final de 36,2 cm. A respiração basal do solo, não respondeu significativamente aos tratamentos, o carbono da biomassa foi maior na área com espécie florestal, no entanto o quociente metabólico não teve diferenças significativas entre os tratamentos. Em relação às propriedades químicas do solo a água residuária teve maiores influências no pH e matéria orgânica do solo, mostrando ser uma alternativa promissora para a recuperação da capacidade produtiva do solo, principalmente pelo incremento da MOS. O efeito no crescimento da palma forrageira foi maior na lâmina de 1000 ml de água residuária tratada, as lâminas de 500 ml e 1000 ml semana⁻¹ de água residuária tratada não promoveram diferenças no crescimento em altura e diâmetros do sabiá. A área sob vegetação florestal se sobressaiu em relação a palma, possivelmente pelo aporte maior de resíduos orgânicos da própria planta, servindo de fonte de nutrientes a microbiota do solo. As propriedades biológicas do solo: respiração basal, carbono da biomassa e quociente metabólico não foram influenciadas diretamente pelos tratamentos.

Palavras chaves: Semiárido paraibano, propriedades químicas, biologia do solo.

MEIRELES, D. A. **Chemical and biological attributes of an anthroposol using treated wastewater in the semiarid**. Areia, 2019, 61p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. Orientadora: Prof.^a Dr^a Vânia da Silva Fraga.

ABSTRACT

Water scarcity grows by the day, especially in the semiarid regions. As a result, the amount of groundwater used in agriculture is strictly limited, and it has become necessary to explore alternative sources of water. The objective of the present study was to evaluate the potential of treated wastewater in the recovery of fertility of an anthroposol and in the vegetative growth of forage and forest palm, as well as to determine the basal respiration, carbon of the microbial biomass and metabolic quotient of an anthroposol year with wastewater irrigation. The experiment was conducted in a 780m² area in Paraíba Semiarid in a randomized block design with ten replications, three plant species and three treatments, corresponding to the type and volume of water used (T1 = 500 ml of water supply -AA , T2 = 500 ml of wastewater -AR , T3 = 1000 ml of wastewater -AR). The experiment was carried out in an agroforestry system with 1560 forage palm rackets: Mexican elephant ear (*Opuntia tuna*) and 195 seedlings of 2 forest species : Sabiá (*Mimosa ceasalpinifolia* Benth) and Aroeira Branca (*Myracrodruon urundeuva* Allmanha) planted in double row. Biometric variables were investigated in the forage palm and in the sabiá forest species. Soil was collected before and after irrigation and analyzed for chemical and biological attributes. In the chemical parameters of the soil, significant contrasts were observed only for pH, Organic Matter, CTC, and Sum of Bases. The pH Initial was classified as neutral, changing to a weak acidity after treatment application, being more relevant between the initial soil pH (pH 6.9) and the addition 500 ml AA weekly (pH 5.9). MOS contents increased significantly after AR use. Regarding CTC, it was found that the plots that received the RA doses presented the highest values, when compared to the plots that received AA. Regarding the vegetative growth, the treatment with 1000 ml of wastewater weekly, responded better in all variables of forage palm , where it obtained a final average of 36.2 cm. The basal respiration of the soil did not respond significantly to the treatments, the biomass carbon was higher in the area with forest species, however the metabolic quotient had no significant differences between treatments. Regarding the chemical properties of the soil, the wastewater had greater influences on soil pH and organic matter, showing to be a promising alternative for the recovery of the productive capacity of the soil, mainly by the increase of the MOS. The effect on forage palm growth was greater on the 1000 ml treated wastewater slide, the 500 ml and 1000 ml week treated wastewater slides did not promote differences in the height and diameter growth of the thrush. The area under forest vegetation stood out in relation to the palm, possibly due to the larger contribution of organic residues from the plant itself, serving as a source of nutrients to the soil microbiota. Soil biological properties: basal respiration, biomass carbon and metabolic quotient were not directly influenced by the treatments.

Keywords: Paraíba semiarid, chemical properties, soil biology.

1- INTRODUÇÃO

A escassez de água cresce a cada dia, principalmente nas regiões semiáridas. Consequentemente, a quantidade de água subterrânea usada na agricultura é estritamente limitada, e tornou-se necessário explorar fontes alternativas de água. Sendo assim, As águas residuárias tratadas tornaram-se uma importante fonte para irrigação de culturas em regiões áridas e semi-áridas porque possui vantagens de estar livre de impactos climáticos, baixo custo, estabilidade e confiabilidade (Mounzer et al., 2013; Pedrero et al., 2014) além de diminuir a recarga de aquíferos e conter nutrientes. Podendo ser utilizada para recuperar a capacidade produtiva em solos degradados.

A Paraíba possui um percentual de (cerca de 29%), de áreas com nível grave de degradação de solo a maior parte concentrada na região semiárida, o sobrepastoreio, a alta densidade populacional registrada em várias localidades, além disso ações antrópicas são constantes, como desmatamentos e o manejo ambiental sem planejamento, se tornando um agravante do estado de degradação desses solos (CÂNDIDO et al., 2002). Dentre as diversas causas de degradação antrópica, pode-se citar o uso do solo como área de empréstimo para fins de construção civil e minérios. Esse tipo de degradação se torna um problema alarmante visto que há uma retirada total ou parcial de horizontes superficiais, expondo as camadas subjacentes o que induz em impactos diretos na fertilidade do solo, causando danos às vezes irreversíveis (DOETTERL et al, 2016) , dando origem a novas classes de solo (Antropossolo).

De acordo com a CURCIO et al., 2004 o Antropossolo compreende volume formado por várias ou apenas uma camada antrópica, desde que possua 40 cm ou mais de espessura, constituído por material orgânico e/ou inorgânico, em diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprolitos de rocha, ou rocha não intemperizada. Esses usos deixam o solo exposto, e nas condições extremas de clima do semiárido o processo de degradação é acelerado, impossibilitando a reestruturação do solo e o crescimento vegetativo.

Diante de tal quadro, tornam-se necessário, práticas urgentes para recuperação dessas áreas afetadas, que possibilitem a capacidade de produção das mesmas, porém, a recuperação do solo é um processo lento, que depende da capacidade resiliente do mesmo, especialmente quando se trata de suas características físicas e químicas (SAMPAIO et al.,

2012), e biológica, além da disponibilidade de água. Uma alternativa promissora para a recuperação dos solos dessas áreas é o uso de água residuária.

O uso de água residuária pode melhorar o rendimento das culturas porque a mesma contém certa quantidade de íons sal, nutrientes inorgânicos (como N, P e K) e matéria orgânica dissolvida. Esses componentes são facilmente absorvidos e utilizados pelas plantas (Gans et al., 2005).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo i) Avaliar o potencial da água residuária tratada na recuperação da fertilidade de um Antropossolo ii) Mensurar o efeito da água residuária e de abastecimento sobre o crescimento de palma forrageira e espécies florestais irrigadas por um ano. iii) Determinar a respiração basal (RBS), biomassa microbiana e quociente metabólico (qCO_2) de um Antropossolo, após um ano com irrigação com água residuária.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1- Degradações de solos no semiárido

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUD), por meio do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo), o continente Sul Americano, tem 244 milhões de ha de solo em degradação, sendo o desmatamento o principal responsável por 41% das áreas degradadas, assim como o superpastejo por 27,9% e atividades agrícolas 26,2% e 4,9% é responsabilidade da exploração intensa da vegetação (JORGE et al., 2016). No Brasil, as estimativas sobre esses impactos ao solo ainda apontam o desmatamento e as atividades agropecuárias como causas principais de degradação. Porém já surgem outros fatores, como a construção civil que vem aumentando junto ao crescimento populacional.

A relação entre as áreas que sofrem processos de degradação dos solos e as novas delimitações no Estado da Paraíba chega próximo a 58% com isso, há um desequilíbrio entre oferta e demanda de recursos naturais em áreas de semiárido, levando-se em questão o atendimento escasso à necessidades básicas da população, todo esse desequilíbrio impacta na intervenção do homem, que se faz por meio da utilização inadequada do solo, tal como a vegetação e a água. (PEREZ-MARIN et al., 2012; SILVEIRA et al., 2015).

A degradação dos solos e recursos hídricos vem se agravando rapidamente em regiões áridas e semiáridas (PROSDOCIMI et al., 2016). Os fatores naturais como clima, hidrologia, topografia, geologia, e vegetação são os que mais causam problemas de

degradação de solos nas regiões semiáridas (LONAZO-GARCIA et al., 2017). Aliado a isso, no semiárido Nordeste a degradação dos solos é um problema observado facilmente, onde também é provocada pelo mau uso do mesmo, em alguns casos a prática da agricultura irrigada que pode ser uma atividade de risco potencial para a qualidade do solo. Quando mal planejada, pode apresentar riscos de degradação de solos, incluindo a salinização e a sodificação (CORRÊA et al., 2009). Uma vez que por motivos naturais, a água utilizada contém um teor de sais elevado.

Outra característica marcante da região semiárida é a baixa precipitação e alto potencial de evapotranspiração, que acelera o processo de degradação devido a contribuição para o movimento de sais na solução do solo, interferindo nas propriedades físicas, químicas e biológicas do mesmo, de forma negativa (RENSASAMY, 2006). Além de todos os fatores ambientais que degradam o solo, existem os antrópicos como as atividades de mineração e remoção de camadas superficiais para a construção civil. Com isso, os solos que sofrem degradações antrópicas estão se expandindo pelo mundo (CURCIO et al, 2004). Nesses solos, a capacidade de produção é fortemente diminuída pela alteração das características de qualidade do solo, em consequência da retirada da cobertura vegetal localizada nas camadas superficiais (DOETTERL et al, 2016). Dando origem a solos antropogênicos e até novas classes como os Antropossolos.

Levando em consideração o efeito da degradação do solo, a mesma promove a diminuição da produtividade agrícola, sendo está diretamente influenciada pelo uso e manejo inadequado resultando na modificação do perfil do solo, consequentemente na compactação e diminuição da capacidade de infiltração e retenção de água, diminuindo o teor de matéria orgânica, elevando o escoamento superficial, ocasionando transporte de sedimentos (BALDASSARINI et al., 2014). Sendo assim, um dos principais indicadores de degradação do solo, é a diminuição da quantidade de matéria orgânica. Em solos com degradação antrópica ou decapitados há pouca ou nenhuma cobertura vegetal.

Outro fator que interfere diretamente é quando a saturação por sódio Na^+ no solo é alta, com isso a matéria orgânica junto com partículas de argila se dispersa, resultando em uma desagregação, danificando diretamente a estrutura do solo (MAVI et al., 2012).

2.2- Recuperação de solos degradados pelo uso de água residuária.

O homem como mediador de ações antrópicas, ao utilizar-se do meio de maneira inadequada, por exemplo; a supressão vegetal, ocupação tumultuada, utilização de recursos naturais de forma impropria, gera diversos problemas prejudicando a biodiversidade local,

ocorrendo a degradação de solos, extinção de espécies de fauna e flora, erosão do solo (SANTOS et al., 2017).

Uma característica preocupante de solos degradados é a baixa resiliência, pois a recuperação do mesmo é lenta, até impossível em alguns casos, o que exige uma intervenção antrópica utilizando-se de estratégias para recuperar o solo, havendo um monitoramento para proporcionar maior eficácia da metodologia abordada (LIMA et al., 2007; CARNEIRO et al., 2012). A recuperação de áreas degradadas é um processo complexo e dividido por fases que devem ser alcançadas em conjunto para que se alcance o sucesso (NOGUEIRA et al., 2012).

Assumir atividades de recuperação de áreas degradadas de uma maneira participativa requer adoções de procedimentos alternativos, que sejam até mesmo inesperados assim facilitando ações, sejam as mesmas de intervenção ou não (CHECOLI et al., 2016). Além de práticas para recuperação de áreas degradadas, é necessário que haja estudos sistemáticos por meio de indicadores que forneçam informações sobre a situação da área, assim utilizando-se de culturas que possam influenciar na evolução do processo de restauração do solo (SOUZA et al., 2015). Devido a tal fato, surgiram muitas tentativas e programas em busca de recuperar esses ambientes nos últimos anos, porém sendo considerados vários fatores como o ecológico, social e principalmente o econômico e fortalecendo a preocupação em desenvolver métodos e técnicas que visem reduzir ao máximo os custos (SANTOS et al., 2012).

Nesse sentido, Montenegro et al (2013), afirmam que uma das práticas mais utilizadas e recomendadas para regiões de semiárido, é a adição de cobertura morta sobre o solo, sendo esse manejo importante na contribuição do revolvimento de culturas e consequentemente a redução de perdas de água e erosão superficial, mantendo a umidade do solo, fator importantíssimo para desenvolvimento da planta. Porém não exclui a possibilidade de buscar outros métodos de recuperação, utilizando-se de atributos econômicos e práticos como o reuso de água. Visto que, a utilização de água residuária na recuperação de áreas degradadas, se tornou uma prática que auxilia a sustentabilidade, sendo um meio alternativo de controlar locais que são poluidores de corpos d'água, além de fazer uma reciclagem de nutrientes no solo, consequentemente proporcionando um possível aumento da produção agrícola (REIS et al., 2005; VARALLO et al., 2009).

A irrigação com águas residuária tem muitos benefícios tanto econômicos quanto ambientais, tais como a redução da utilização de recursos hídricos naturais, redução de uso de fertilizantes químicos, proteção dos ecossistemas aquáticos contaminação e melhoria do rendimento da cultura devido ao fornecimento de nutrientes (FARHADKHANI 2018).

Contudo, as alterações químicas observadas no solo, estão diretamente correlacionadas com proporção da composição química das águas residuárias que se utilizará, os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades químicas do solo, só serão pronunciados após longo período de aplicação, e pelas condições de clima, levando em consideração o tipo de solo (MEDEIROS et al., 2005). Além disso, na água residuária há um teor significativo de matéria orgânica, e a mesma tem grande importância para os solos, na retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e serve como fonte de carbono (C) e energia aos microrganismos heterotróficos, constituindo-se, assim, num componente fundamental do potencial produtivo desses ambientes (VILELA et al., 2013).

São vários os motivos para utilização de água residuária e muitos deles são destacados para fins agrícolas como: por ser um meio de condicionante do solo, substitui em partes os fertilizantes que tem um custo elevado e geram riscos para a saúde humana, serve como uma fonte alternativa para irrigação de culturas, é importante na gestão de recursos hídricos, tal como evita a descarga de poluidores em corpos de água que recebem tais efluentes (HESPANHOL, 2003).

Farhadkhani et al., (2018) relataram em pesquisa realizada no semiárido do Irã, que os valores de porosidade, RAS (Relação de Adsorção de Sódio) e CE (Condutividade Elétrica) foram significativamente diferentes de acordo com a aplicação de água residuária no solo, observaram que a média de CE foi reduzida para 155 e 264 para parcelas irrigadas com água de torneira e água residuária tratada, respectivamente. O valor da CE em parcelas irrigadas com água residuária foi significativamente maior que em parcelas irrigadas com água de torneira. O conteúdo de matérias orgânicas nas parcelas irrigadas com água residuária, foi observado um ligeiro aumento após a irrigação. A análise estatística mostrou que não houve diferença significativa entre os valores de outros parâmetros. O pH do solo foi relativamente constante em todas as parcelas e sem alteração com a irrigação.

De acordo com alguns autores a adição de matéria orgânica com o uso de água residuária, pode ter resultados contraditórios sobre o pH do solo, visto que alguns solos ao receberem água residuária, sofrem uma diminuição no valor de pH devido a degradação de resíduos biodegradáveis, produzindo CO₂ e ácidos orgânicos. (BOUWER 2000; ERTHAL et al., 2010).

ERTHAL et al., (2010), observaram em trabalhos com água residuária um aumento na concentração de P disponível nas camadas superficiais de 10 cm,

comportamento esse devido a pouca mobilidade do P no perfil do solo. O mesmo resultado foi observado para K^+ trocável. MATOS et al (2005), argumentaram que, apesar do potássio ser considerado um cátion relativamente móvel no solo, o pequeno período de aplicação de água residuária, coincidente com o período de poucas chuvas, mostrou-se insuficiente para proporcionar maior lixiviação desse cátion no perfil do solo.

Contudo, apesar da utilização de água residuária tratada ser um recurso hídrico importante principalmente para regiões semiáridas, há preocupações em relação à algumas propriedades físicas e de hidráulicas do solo podendo levar à degradação desses (BARDHAN et al., 2016). Já que, em relação à qualidade do solo, mesmo com as vantagens da aplicação da água residuária, é necessário evitar que ocorra o processo de salinização (DIAS, et al., 2010). Diante disso, esse problema é pouco provável no presente estudo, visto que a lâmina de irrigação utilizada é tão pequena que não chega a haver níveis de contaminação ao solo. Porém a irrigação utilizada no presente estudo é por gotejamento, e deve-se salientar que a qualidade da água residuária é de fundamental importância, para o desempenho dos sistemas de irrigação e de seus componentes, pois, água contendo sedimentos em suspensão tem sido a causa de sérios problemas em sistemas de irrigação localizada, principalmente, o entupimento de tubulações e de emissores, ocasionando como consequência, irrigações não uniformes e queda na sua eficiência (FIORI et al., 2006), por isso vale observar a importância da mesma ser tratada anteriormente.

Portanto, faz-se necessário, estudos mais detalhados quanto à aplicação de água de reuso no solo, diante das consequências que este fato poderá provocar nas propriedades físicas e químicas, gerando danos não apenas para a cultura – quando de sua aplicação para fins agrícolas, mas também poderá causar degradação do solo e danos ao meio ambiente, em geral, quando o manejo é feito de forma incorreto (VARALLO et al., 2009).

2.3- Potenciais econômicos na recuperação de áreas degradadas de sistemas agroflorestais (Palma e Florestais)

As plantas são eficientes bioindicadores de qualidade de solo em ecossistemas agrícolas (SZYMURA et al., 2016), sendo assim a utilização de um sistema agroflorestal é importante visto que em solos de características semiáridas. De acordo com Barreto et al., 2006, as plantas florestais contribuem com a adição de material orgânico ao solo,

auxiliando na fertilidade do mesmo, aumentando a interação de cátions, melhorando consequentemente as características químicas, físicas e biológicas do solo.

A espécie Sabiá (*Mimosa ceasalpinifolia* Benth.) é uma árvore que ocorre de preferência em solos com camadas mais profundas. Nativa do Brasil, especificamente da região Nordeste, sua família é a Mimosaceae, conhecida em outras regiões como sansão do campo. Sendo utilizada para diversos fins, desde a ornamentação até fonte de alimentação para o gado, sua madeira é apropriada e comercializada para estacas e mourões além da utilização da própria lenha para produção de carvão. No semiárido as folhas são utilizadas como alimentação animal. E ainda por ser pioneira já se utiliza bastante para a recomposição de áreas degradadas (LORENZI, 2000). As dimensões da espécie são próximas de 10 m de altura e 30 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta (CARVALHO, 2007).

A Aroeira-branca (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), da família Anacardiaceae, recebe outros nomes populares dependendo da região, como aroeira-vermelha, aroeira-mansa, aroeira-da-praia, aroeira-do-sertão, aroeira-do-paraná, araguaraiaba, entre outros. A aroeira é típica do Nordeste Brasileiro, ocorrendo também no Cerrado e Rio Grande do Sul, e dependendo do ambiente a mesma tem diferentes formas de crescimento variando de ecótipos como pequenos arbustos (50 a 60 cm) até árvores com 15 metros. Essa planta é utilizada para diversos fins como a sua madeira que possui características importantes como: fonte energética, valor apícola, forragem para cabras, ornamentação, uso medicinal, além de cerca viva e capacidade de recuperar áreas degradadas (BAGGIO, 1988).

A palma (*Opuntia* sp) é uma forrageira bem adaptada às condições do semiárido, suportando grande período de estiagem devido às propriedades fisiológicas, caracterizadas por um processo fotossintético. A palma forrageira se torna um alimento de grande potencial para os rebanhos, principalmente em períodos de estiagens, onde as mesmas possuem capacidade de suportar temperaturas extremas, assim durando mais tempo em campo e fornecendo alimento verde, e suprimindo grande parte de água necessária para o animal em período de escassez (SANTOS et al., 2006). O cultivo da palma deve ser realizado no período mais seco, evitando assim o apodrecimento das raquetes (sementes), tal como desenvolvimento de fungos ao ter contato com o solo úmido, isso devido ao alto teor de água que a planta já contém.

Cultivar palma é uma alternativa viável para manter a alimentação e consequentemente a produtividade animal na região semiárida. Portanto, aumentar a produtividade dessa cactácea é uma maneira eficaz de promover a sustentabilidade nas áreas rurais e diminuir a pressão sobre os recursos naturais (DUBEUX Jr. et al. 2006).

A adaptação e o desenvolvimento das espécies dependerão das condições físicas, químicas, biológicas e hídricas do solo e também das condições do microclima local. Portanto, qualquer influência visando à restauração do solo, deve partir de duas hipóteses: de que exista um ecossistema sem qualquer alteração, em equilíbrio, cujas características têm de ser consideradas no processo de restauração como ideal a ser alcançados, e de que existem instrumentos legais que regulamentam interferências sobre os recursos naturais (CAMPOS et al., 2006), como o exemplo em estudo, a utilização de água residuária para recuperação da qualidade de um solo em degradação.

2.4- Influência da água residuária na atividade biológica do solo.

A água residuária por conter matéria orgânica em sua composição, fornece Carbono orgânico que por sua vez, pode estimular o crescimento e atividade da biomassa microbiana (MORUGÁN-CORONADO et al., 2011). Dessa forma acredita-se que a inserção de matéria orgânica advinda da água residuária pela irrigação interfira nas propriedades físico-químicas e biológicas do solo (FRENK et al., 2014; GARCÍA-ORENES et al., 2015).

A maioria dos trabalhos realizados com água residuária relata o efeito da irrigação na atividade dos microrganismos do solo, afirmando o aumento da sua atividade em solos irrigados com água de reuso (LI et al., 2010). No entanto, são poucos os estudos que analisam a influência desse tipo de água na microbiota do solo, levando em consideração se a irrigação é em curto ou médio prazo (FRENK et al., 2014; GARCÍA-ORENES et al., 2015). Friedel et al. (2000) e Ramirez-Fuentes et al. (2002) descobriram que o carbono da biomassa microbiana só aumentou quando o período de irrigação ultrapassou os 80 anos. Isso demonstra que o efeito desse tipo de irrigação no solo pode levar anos para interferir nas propriedades do mesmo, já que a atividade biológica do solo é um fator importante na sua recuperação e diretamente relacionada com as características físico-químicas do solo.

A microbiota desenvolvida no solo irrigado com água residuária tratada, é capaz de ciclar a matéria orgânica do solo em maiores quantidades comparado ao solo irrigado com água fresca ou de abastecimento. Pode ser decorrente da constante adição de efluente na água residuária, onde a mesma é sempre abastecida por compostos orgânicos de diferentes composições (MECHRI et al, 2007). García-Orenes et al., (2015) concluem em pesquisa realizada no semiárido e em agroecossistema, que o uso a longo prazo de água residuária pode acarretar no estabelecimento de uma comunidade microbiana persistente e específica,

funcionalmente mais ativa, alterando a composição da comunidade microbiana nativa do solo.

Contudo, avaliar as alterações microbiológicas no solo é importante visto que, a respiração basal do solo (SBR) e biomassa microbiana fazem parte de atributos principais relacionados à fertilidade do solo (NIEMEYER et al., 2012). Parâmetros microbianos, principalmente aqueles ligados à biomassa, atividade e diversidade de grupos microbianos do solo, mostraram ser bons apontadores de funcionamento do solo, ou seja, a saúde do solo (BARRUTIA et al., 2011; MUNOZ-LEOZ et al., 2012).

Com isso, esse tipo de solo (Antropossolo) também deve ser estudado quanto suas características biológicas, visto que essas propriedades são mais sensíveis a perturbações, e tem uma rápida resposta e conseguem fornecer informações sobre a condição do solo interagindo com uma variedade de fatores (GALENDE et al., 2014).

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido em uma área localizada nas imediações da sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA) em Campina Grande, PB, com dimensões de 780 m².

A região é caracterizada por um clima seco semiárido com regime pluviométrico irregular e longo período de estiagem classificado como BSh' de acordo com a classificação de Alvares et al. (2013). A temperatura do ar varia entre a máxima anual de 28,6°C e a mínima 19,5 °C e a umidade relativa com média em torno de 80%. O relevo da área de estudo é suave ondulado.

O solo tem como histórico a utilização da área para empréstimo havendo remoção da camada superficial (decapitado), posteriormente classificado como Antropossolo.



Figura 1. Campo experimental irrigado com água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba, antes do corte. Fonte: INSA

3.2 - Caracterizações das águas

A água de reuso utilizada é proveniente dos banheiros e cozinhas, e recebe tratamento primário na estação de tratamento de efluentes do INSA (Figura 6).



Figura 6. Estação de tratamento primário de esgoto doméstico da sede do Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA.

Os tratamentos aplicados no experimento foram:

T1: Irrigação com volume de 500 ml planta/semana com água de abastecimento;

T2: Irrigação com volume de 500 ml planta/semana de água residuária de esgoto doméstico;

T3: Irrigação com volume de 1000 ml planta/semana de água residuária de esgoto doméstico;

3.3- Aporte de nutrientes da água residuária

Para se estimar os aportes de nutrientes aplicados às plantas, por meio dos tratamentos testados com água residuária, foram coletadas amostras da água residuária e de abastecimento no ponto de aplicação (gotejadores), para caracterização físico química, sendo as análises realizadas por Cromatografia de íons, em equipamento Diotex- Thermo Scientific modelo ICS-1100, e segundo metodologia APHA et al, (2012).

Tabela 01: Dados da caracterização físico-química do sistema de tratamento (tanque séptico + filtro anaeróbio) do Instituto Nacional do Semiárido – INSA Campina Grande PB.

Parâmetros	Unidade	Água	
		Abastecimento (AA)	Residuária (AR)
pH	-	6,63	9,00
CE	dS m ⁻¹	0,46	2,58
DQOt	mg L ⁻¹	0,00	463,3
DBOt	mg L ⁻¹	-	254,5
NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	1,01	44,70
NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	0,72	0,38
PO ₄ ³⁻	mg L ⁻¹	0,61	13,40
K ⁺	mg L ⁻¹	4,86	31,07
Ca ₂ ⁺	mg L ⁻¹	22,96	40,78
Mg ₂ ⁺	mg L ⁻¹	9,58	9,00
SO ₄ ²⁻	mg L ⁻¹	21,58	30,54
Na ⁺	mg L ⁻¹	22,42	104,97
Cl ⁻	mg L ⁻¹	61,60	165,01

CE = Condutividade elétrica, DQOt = Demanda química de oxigênio total, NH₄⁺ = Amônio, NO₃⁻ = Nitrato, PO₄³⁻ = Fosforo, K⁺ = Potássio, Ca₂⁺ = Cálcio, Mg₂⁺ = Magnésio, SO₄²⁻ = Sulfato, Na⁺ = Sódio, Cl⁻ = Cloro.

3.4- Amostragem e caracterização inicial do solo

A amostragem de solo foi realizada com o auxílio de um cavador, por se tratar de uma área com muita pedregosidade. Para caracterização química inicial da área foram definidos três pontos amostrais e retiradas amostras de solo nas camadas de 0-20, sendo

esses pontos localizados próximos da área experimental, porém sem adição dos tratamentos. O solo coletado foi seco e peneirado em malha de 2 mm e analisado quanto aos atributos químicos: pH, N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Al³⁺, H+Al de acordo com metodologia da Embrapa (TEXEIRA et al, 2017). E carbono total segundo metodologia baseada em Yeomans & Bremner, (1988), após o C foi calculado para obter matéria orgânica do solo.

Tabela 2. Atributos químicos de um Antropossolo em área de empréstimo no semiárido Paraibano em profundidade de 0-20 cm, antes da aplicação das lâminas de água residuária

Antropossolo 0-20 cm	Unidades		Classificação
pH	1:2,5 (H ₂ O)	6,9	Acidez fraca
MOS	mg g ⁻¹	0,69	
Ntotal	mg g ⁻¹	0,91	
P	mg kg ⁻¹	0,64	Baixo
K ⁺	mg kg ⁻¹	742,30	Muito alto
Ca ²⁺	Cmolc kg ⁻¹	0,31	Muito baixo
Mg ²⁺	Cmolc kg ⁻¹	1,53	Muito alto
Na ⁺	Cmolc kg ⁻¹	2,5	Muito alto
Al ³⁺	Cmolc kg ⁻¹	0,07	Muito baixo
H+Al	Cmolc kg ⁻¹	2,8	Médio
SB	Cmolc kg ⁻¹	6,21	Muito alto
CTC pH ₇	Cmolc kg ⁻¹	9,0	Alto
V%	%	68,9	Alto

MOS = matéria orgânica do solo, N= Nitrogênio, P = Fosforo, K⁺= Potássio, Ca²⁺ = Cálcio, Mg²⁺ = Magnésio, Na⁺ = Sódio, Al³⁺ = Alumínio, H+Al = Classificação e interpretação da fertilidade do solo segundo classes de interpretação para química e fertilidade do solo, Manual de Pernambuco.

Na Tabela 2 são observados os valores de nutrientes presentes nesse solo, apresentando também uma alta concentração de sódio, pouco alumínio (Al³⁺) trocável e pH próximo da neutralidade.

3.5- Amostragem e caracterização final do solo

Após um ano de implantação dos tratamentos foi realizada amostragem de solo de acordo com o mesmo procedimento adotado na amostragem inicial. Na qual foram coletados 3 pontos em cada linha de tratamento na profundidade, 0-20, após foram misturados formando uma amostra composta totalizando 3 amostras por cada bloco em

O solo coletado foi seco e peneirado em malha de 2 mm e analisado quanto aos atributos químicos: pH, N, MOS, P, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺², Al⁺³, H⁺+Al de acordo com metodologias semelhantes à da caracterização inicial. Para fins de comparação antes e após aplicação dos tratamentos.

3.6- Condições climáticas durante experimento

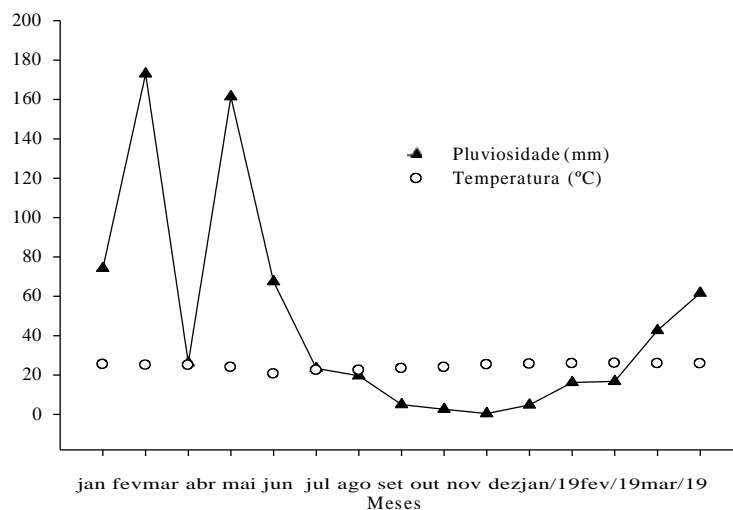


Figura 7 - Pluviosidade mensal e temperatura média mensal do campo experimental, no INSA – Campina Grande PB durante o ano de 2018 até março 2019.

Observa-se uma quantidade de chuva de 410 mm no início do experimento. No mês de maio as chuvas começaram a cessar, com precipitações em fevereiro e março de 2019 de 100 mm.

3.7- EXPERIMENTO I

3.7.1- Delineamento experimental

O estudo foi realizado em um delineamento experimental de blocos casualizados, com dez repetições, três espécies vegetais e três tratamentos, correspondentes ao tipo e volume de águas utilizadas. (Figura 2).

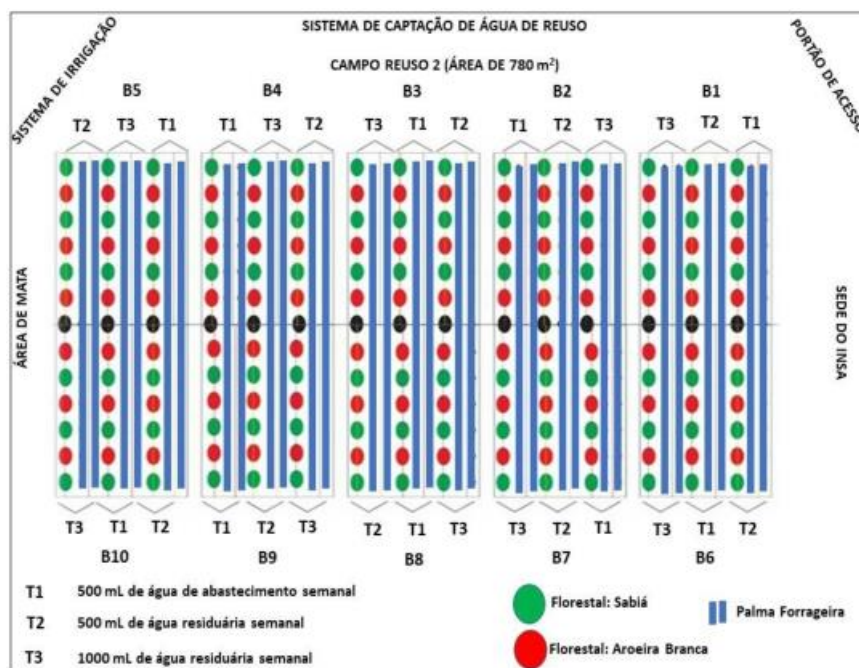


Figura 2. Delineamento experimental e distribuição de tratamentos em um Antropossolo com aplicação de água residuária tratada

A área de estudo foi implantada em julho de 2013 com duração de 4 anos, onde os tratamentos de irrigação foram aplicados nos primeiros 2 anos (2013 e 2014) e suspensos nos anos seguintes para avaliar o comportamento do solo, em estudos anteriores. Sendo reativado todo o sistema de irrigação no ano de 2018 para o presente estudo, após o corte das plantas e florestais.

3.7.2- Implantação das espécies vegetais

Na área de estudos implantada em 2013 foram plantadas 195 mudas de 2 espécies nativas da Caatinga com potencial madeireiro: Sabiá (*Mimosa ceasalpinifolia* Benth) e Aroeira-Branca (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), manejadas com irrigação por gotejamento. O plantio das mudas foi feito em nível colocando 01 (uma) muda por cova com espaçamento 2,0 x 2,0 m e dimensões de 30 x 30 x 30 cm, para o preparo da área antes do plantio, foi realizado adubação de fundação com 1 kg de composto orgânico, por cova.

O experimento foi instalado em sistema agroflorestal consorciado com 1560 raquetes de palma forrageira: Orelha de elefante mexicana (*Opuntia tuna*), plantadas em fila dupla. Entre os meses de agosto a outubro de 2017, realizou-se o corte da palma forrageira e janeiro a fevereiro de 2018 a sabiá e aroeira, deixando a palma apenas com a

raquete principal, (caule) no solo (Figura 3) e as espécies florestais na altura do diâmetro de base (30 cm do solo) para posterior análises de crescimento em ambas espécies.



Figura 3. Corte da palma no campo experimental irrigado com água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA.

Foram avaliadas as seguintes variáveis biométricas na palma forrageira: altura da planta (utilizando trena graduada), número total de cladódios (por contagem), comprimento (medido em cm no meio do cladódio no sentido vertical utilizando trena graduada), perímetro (medido em cm ao redor de todo o cladódio com trena graduada) espessura (medida em milímetros com utilização de paquímetro) e largura do cladódio (medido em cm no meio do cladódio no sentido horizontal). Cada cladódio avaliado foi identificado com marcação, e identificadas as plantas úteis (8 plantas por bloco). Sendo que em cada planta útil, apenas 1 raquete de palma foi monitorada conforme a figura 4.



Figura 4. Biometria em palma forrageira no campo experimental irrigado com água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA

Nas espécies arbóreas foram monitoradas: altura total, diâmetro de base (30 cm do solo) e diâmetro da altura do peito (DAP), (1,20 cm do solo) para todas as plantas conforme a Figura 5. A periodicidade das avaliações foi realizada mensalmente.



Figura 5. Biometria em sabiá no campo experimental irrigado com água de reuso no Instituto Nacional do Semiárido, Campina Grande, Paraíba. Fonte: INSA

3.7.3- Análises estatísticas I

Os resultados obtidos foram analisados no programa estatístico o SAS University Edition/STAT-PROC Univariate, para análises de contrastes. (http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html). E submetidos à análise de regressão, no Sigmaplot para o crescimento vegetativo.

3.8- EXPERIMENTO II

3.8.1- Delineamento experimental.

Para análises de respiração basal, carbono da biomassa e quociente metabólico, utilizou-se um delineamento experimental diferente, onde se utilizou seis blocos, duas espécies vegetais (palma forrageira e sabiá), e dois tratamentos T1 = 500 ml de água de abastecimento (AB) e T2= 500 ml de água residuária (AR). Sendo a coleta de solo realizada sob diferenciação entre área de palma e área florestal. O experimento foi realizado no Laboratório de Matéria Orgânica do Solo – DSER, do Centro de Ciências Agrárias-UFPB

3.8.2- Respiração basal do solo (RBS)

A determinação da respiração basal e quociente metabólico foi realizado de acordo com a metodologia de Stotzky (1965). As amostras de solo recém coletadas foram peneiradas em malha de 2 mm, retirando-se os fragmentos de animais e vegetais por meio

de catação. Em seguida, pesou-se 50 gramas de cada amostra e acondicionadas em frascos de vidro de 100 mL. Partindo das amostras de solo previamente pesadas, para cada sub-amostra utilizou-se 10 ml de NaOH 1 M, acondicionados com o auxílio de pipeta automática de 10 mL, em novos frascos de vidro de 100 mL. Transferiu-se imediatamente cada sub-amostra juntamente com seu respectivo frasco contendo NaOH para um frasco de vidro de 2 L, hermeticamente fechado, para que não haja entrada de CO₂ do ar externo ou fuga do CO₂ internamente produzido. Assim sendo, dois frascos de vidro de 100 mL para cada frasco de vidro de 2 L, constando também alguns frascos de 2 L com apenas o frasco com NaOH, servindo de solução controle (branco).

Após realizar todo o preparo para a incubação das sub-amostras, foram registradas a hora e a datas de quando se iniciou a incubação, para o cálculo da respiração basal do solo através destes dados. As sub-amostras foram mantidas em local isento de luminosidade e com temperatura em torno de 25 a 28°C durante o período de 60 dias (Figura 5). Após sete dias, foram retiradas do frasco de 2 l, contendo NaOH. Após esse período, a solução foi transferida para um Becker com cerca de 100 mL de água deionizada e em seguida, foi realizada a leitura por método de titulação com bureta digital procedendo assim a neutralização do NaOH contido na amostra, com HCl, 0,25 N até obter pH 8,3 anotando-se o valor de HCl gasto entre o pH de 8,3 a 3,7 segundo metodologia de Amorim, 2010. Assim foi obtido o teor de carbono total para (3, 7, 15, 22, 30, 37, 44, 51, 60) dias. O cálculo de respiração basal do solo é dado pela equação 1.

$$\text{Equação 1: RBS (mg de C-CO}_2\text{ kg}^{-1}\text{ solo hora}^{-1}) = (((V_b - V_a) \cdot M \cdot 6 \cdot 1000) / P_s) / T$$

Onde: RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo;

V_b (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco); V_a (mL) = volume gasto na titulação da amostra;

M = molaridade exata do HCl; P_s (g) = massa de solo seco;

T = tempo de incubação da amostra em horas.

3.8.3- Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

Após os dias de incubação o material foi retirado e analisado a biomassa microbiana do solo, segundo metodologia EMBRAPA, (1997).

O C extraído do solo é calculado pela fórmula:

$$\text{Equação 2: } C \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = (V_b - V_a) \cdot N \cdot 0,003 \cdot 50 \cdot (8 \cdot P_s)^{-1} \cdot 10^6$$

onde: C = carbono extraído do solo; V_b (ml) = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

V_a (ml) = volume gasto na titulação da amostra;

N = normalidade exata do (NH₄)₂ Fe (SO₄)₂·6H₂O;

P_s (g) = massa de solo seco.

O cálculo da BMS é dado pela fórmula:

$$\text{Equação 3: } BMS \text{ (mg} \cdot \text{kg}^{-1}) = FC \cdot kc^{-1},$$

onde: BMS = biomassa microbiana do solo em mg de C por kg de solo (ou µg.g⁻¹);

FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C (mg.kg⁻¹) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada; kc = fator de correção.

3.8.4- Quociente metabólico (qCO₂)

O qCO₂ é a razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa microbiana do solo conforme descrito por SILVA et al. (2007), e tem sido usado para estimar a eficiência do uso de substrato pelos microrganismos do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1993), podendo ser utilizado como sensível indicador de estresse quando a BMS-C é afetada.

O cálculo qCO₂ da respiração basal do solo é dado pela Equação 4:

$$\text{Equação 4: } qCO_2(\text{mgC-CO}_2.\text{g}^{-1} \text{ BMS-C.h}^{-1}) = \frac{RBS(\text{mgC-CO}_2.\text{kg}^{-1}\text{solo.h}^{-1})}{BMS-C \text{ (mgC.kg}^{-1}\text{solo)}.10^{-3}}$$

Determinação do quociente metabólico do solo, onde: qCO₂ = Quociente metabólico do solo; RBS = Respiração basal do solo; BMS-C = Carbono da biomassa microbiana do solo.

3.8.5- Análises estatísticas II

Os resultados obtidos foram analisados no programa estatístico o SAS University Edition/STAT-PROC Univariate, de uso gratuito, variância com teste de F, utilizando-se o Teste de Tukey para comparação entre médias

(http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html). E submetidos à análise de regressão, no Sigmaplot.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Experimento I

4.1.1- Alterações químicas no solo

Observa-se na tabela 3, as alterações na fertilidade do solo após a aplicação dos tratamentos utilizados, todos classificados de acordo com o Manual de interpretação para química e fertilidade do solo, de Pernambuco.

Tabela 3 - Caracterização do Antropossolo em área de empréstimo no semiárido Paraibano, após um ano de irrigação com diferentes lâminas e tipos de água.

Atributos	Unidades	Tratamentos			
		T0 / Class.	T1 / Class.	T2 / Class.	T3 / Class.
		Profundidade 0-20 cm			
pH	1:2,5 (H2O)	6,9 / AF	5,9 / AM	6,2 / AF	6,1 / AF
MOS	mg g-1	0,69	2,91	5,25	5,45
N total	mg g-1	0,91	0,90	1,13	0,95
P	mg kg-1	0,64 / B	0,60 / B	0,60 / B	0,70 / B
K+	mg kg-1	742 / MA	684 / MA	790 / MA	762 / MA
Ca2+	cmolc kg-1	0,31 / MB	0,31 / MB	0,25 / MB	0,29 / MB
Mg2+	cmolc kg-1	1,53 / MA	0,84 / M	0,87 / M	1,37 / A
Na+	cmolc kg-1	2,5 / MA	0,92 / MA	0,94 / MA	1,79 / MA
Al3+	cmolc kg-1	0,07 / MB	0,13 / MB	0,13 / MB	0,10 / MB
H+Al	cmolc kg-1	2,8 / M	3,13 / M	3,12 / M	3,09 / M
SB	cmolc kg-1	6,21 / MA	3,8 / MB	4,1 / MB	5,4 / MB
CTC pH7	cmolc kg-1	9,0 / A	6,94 / M	7,21 / M	8,48 / M
V%	%	69 / A	55 / M	57 / M	62 / A

T0 – Solo inicial, sem irrigação, T1 – 500 ml de água de abastecimento, T2 – 500 ml de água residuária, T3 – 1000 ml de água residuária ambas aplicadas semanalmente. Letras maiúsculas em parênteses correspondem a classificação e interpretação do pH onde: AF (Acidez Fraca), AM (Acidez Média) e fertilidade do solo, segundo classes de interpretação para química e fertilidade do solo, Manual de Pernambuco, onde: MB (muito baixo), B (baixo), M (médio), A (alto), MA (muito alto).

O pH mostrou aumento após aplicação dos tratamentos., variando de 5,9 com água de abastecimento, a 6,2 com 500 ml de água residuária semanal, passando de uma classificação de acidez fraca a acidez média.

Na análise de variância dos valores de pH, foi encontrada uma diferença significativa no contraste que comparou o solo inicial com os demais tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de pH no Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

FV	pH
TRAT	0.1323 _{ns}
BLOCO	0.6680 _{ns}
CV (%)	6,27
Contrastes	DMS
T0 vs demais	0,93°
T1 vs T2; T3	-0,22 _{ns}
T2 vs T3	0,11 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo; ° significativo a 10% de probabilidade para teste de variância ou de Student. DMS = diferença mínima significativa

Na tabela 3, observa-se um pH próximo a neutralidade antes do experimento (T0), mudando para uma acidez fraca, após a aplicação dos tratamentos, sendo mais relevante entre o pH do solo inicial (pH 6,9), e a adição de AA 500 ml semanal (pH 5,9). Um dos motivos para esse comportamento é que os solos de regiões semiáridas tendem a ter pH mais básico, devido a pouca quantidade de chuva. Além disso, a redução nos valores de pH após aplicação da AA é natural, visto que a mesma vem, em parte, de reservatórios com água da chuva, de caráter ácido. Esses dados corroboram com os de Nascimento et al, (2015), onde observou o mesmo comportamento avaliando diferentes sistemas de irrigação com água residuária doméstica tratada. Esses autores ainda observaram o efeito da diminuição do pH principalmente na utilização do sistema por filtragem, semelhante ao utilizado nesse experimento. Além disso, a água utilizada na irrigação continha poucos elementos básicos (tabela 1).

Vale salientar também que o solo inicial não passou pelos tratamentos, então o mesmo dependia exclusivamente das poucas condições pluviométricas da área. Porém, com o uso constante da irrigação há uma redução dessa temperatura. Contudo, maiores conteúdos hídricos sob temperatura de 25 °C tem-se ótimas condições para a nitrificação do NH_4^+ e, reação esta que libera hidrogênio, isto pode ter contribuído para a ligeira redução do pH após aplicação dos tratamentos. (SANDRI et al 2017).

Além disso, a ligeira diminuição no pH do solo com a utilização da AR também pode ser explicada pelos os ácidos orgânicos da água residuária, servindo de alimento para a biota, causando a redução do pH do solo, o que está de acordo com os estudos de Khai et al. (2008).

De acordo com a análise de variância da MOS e N os valores de tratamento e blocos não foram significativos para ambos (Tabela 5) , porém no contraste comparando o tratamento com AA versos as duas lâminas de AR observam-se uma diferença significativa na MOS, o mesmo não se repetiu para N que não obteve diferenças entre todos os contrastes.

Tabela 5 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de matéria orgânica do solo (MOS) e Nitrogênio total (N) no Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

	MOS	N total
FV	Pr > F	
TRAT	0.0457 _{ns}	0.8561 _{ns}
BLOCO	0.8307 _{ns}	0.6392 _{ns}
C.V (%)	41.88	
Contrastes	DMS	
T0 vs demais	-3,87 _{ns}	-0,15 _{ns}
T1 vs T2; T3	-2,44*	-0,24 _{ns}
T2 vs T3	-0,20 _{ns}	-0,02 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo; * significativo a 5% de probabilidade para teste de variância ou de Student. MOS = Matéria orgânica do solo, N = Nitrogênio. DMS = diferença mínima significativa.

De acordo com a análise de variância os valores de tratamento e blocos não foram significativos tanto para MOS quanto para N total, porém no contraste comparando o tratamento com AA versos as duas lâminas de AR observam-se uma diferença significativa

na MOS, o mesmo não se repetiu para Nitrogênio que não obteve diferenças entre todos os contrastes.

Observa-se no contraste, que os teores de MOS, aumentaram significativamente após utilização de AR, porém ao analisar o solo inicial (tabela 3), ver-se um aumento desses teores após aplicação também de AA, porém não significativo já que a MOS é retirada no tratamento da AA. O aumento significativo na MOS é mais relevante na utilização de AR, que pode ser atribuído pelo fato de a mesma conter resíduos orgânicos provenientes do uso doméstico, como observado na tabela 1. Os valores DQO e DBO correspondem a estimativas indiretas de quantidade de matéria orgânica na água por meio da demanda química e biológica de oxigênio, respectivamente, PEREIRA et al (1997). No presente estudo o valor de DQO da AR foi de 463,3 mg/L, superior ao da AA (0,00), visto que no tratamento da AA, toda a matéria orgânica é retirada. Martins (2017) observou em estudos com água residuária, na região Semiárida, um comportamento semelhante, onde, os valores de MOS foram menores quando irrigado com AA comparados a AR.

A MOS é geralmente modificada pela água residuária após vários anos de uso (XU et al., 2010); porém o uso constante de água residuária em áreas de região semiárida pode aumentar o aporte de MOS (OLIVEIRA et al., 2016). Sendo assim, Matos et al., 2010 relatam a influência da MOS sobre as propriedades físicas do solo como a estrutura e estabilidade dos agregados, aeração, drenagem e retenção de água.

Não houve diferenças significativas nos teores de nitrogênio entre os tratamentos, vale salientar que observando os valores de N, na Tabela 3, houve um pequeno acréscimo desse nutriente no solo, ao receber tratamentos com 500 ml de água residuária tratada. Rodrigues et al, (2009) encontraram em estudo com tipos de água semelhantes, concentrações médias em torno de 0,12% ($1,20 \text{ g kg}^{-1}$), de nitrogênio no solo (profundidade de 0-20 cm), ao final do experimento, deduzindo que houve uma melhora substancial da fertilidade do solo, no tocante a disposição de esgoto doméstico no solo. Porém, quantidades elevadas de nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+) e DQO em águas residuárias podem acarretar em contaminação ao meio ambiente, contudo se utilizadas na agricultura da forma certa, restituem as fontes deste nutriente no solo (FEIGIN et al., 1991; RODRIGUES et al., 2009)

O teor de P não variou significativamente entre os tratamentos em ambos os testes (Tabela 6).

Tabela 6 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de fósforo (P) em um Antropossolo sob tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

P	
FV	Pr > F
TRAT	0.8384 _{ns}
BLOCO	0.5360 _{ns}
CV (%)	36.19 _{ns}
Contrastes	DMS
T0 vs demais	0,001 _{ns}
T1 vs T2; T3	-0,083 _{ns}
T2 vs T3	-0,08 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo; P = Fósforo

Embora tenha sido encontrado uma quantidade maior de fósforo na AR (tabela 3), quando se aplica água residuária no solo, dependendo da mineralogia e classe do mesmo, o P fica retido, entretanto pesquisas demonstram que esse aumento na concentração de P é maior nas camadas mais profundas, sendo pouco significativos na solução do solo (JOHNS; MCCONCHIE, 1994; MARTINS, 2017).

No presente estudo a amostra de AR foi retirada após o tratamento de filtragem, com teores de P maiores que a AA (Tabela 1). No entanto, o P é considerado um ânion relativamente imóvel em solos, porque interage com a fase sólida formando precipitados com Ca, Fe e Al (OLATUYI et al., 2009).

Em pesquisa utilizando água residuária de origem doméstica, Rodrigues et al. (2009) verificaram uma diminuição dos teores de fosforo no solo, onde os teor inicial era de 122,60 mg kg⁻¹ de P, passando para 109 mg kg⁻¹, ao final do experimento, num período de 6 meses.

Com relação aos teores de potássio, cálcio, magnésio e sódio, não foram observadas diferenças significativas no teste de variância para tratamentos e bloco e nem para os contrastes. O que indica que não houve diferença na aplicação de AA e AR e nem na quantidade de água utilizada (Tabela 7)

Tabela 7 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ²⁺
FV	Pr > F			
TRAT	0.73 _{ns}	0.29 _{ns}	0.20 _{ns}	0.18 _{ns}
BLOCO	0.84 _{ns}	0.17 _{ns}	0.51 _{ns}	0.53 _{ns}
CV (%)	22.42	17,36	45.72	67.21
Contrastes	DMS			
T1 vs demais	-3,03 _{ns}	0,03 _{ns}	0,51 _{ns}	1,25 _{ns}
T1 vs T2; T3	-92,08 _{ns}	0,04 _{ns}	-0,28 _{ns}	-0,45 _{ns}
T2 vs T3	27,12 _{ns}	-0,04 _{ns}	-0,50 _{ns}	-0,84 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo;

Em trabalhos com água residuária doméstica, Elfanssi et al., (2018) encontraram valores altos dos cátions trocáveis Na, K, Ca em solos irrigados com águas residuais. Provavelmente devido aos altos teores nutrientes fornecidos pela AR doméstica, apesar dos mesmos estarem em sua forma orgânica. Esses achados estavam de acordo com os resultados de Boruah e Hazarika (2010), pois os níveis trocáveis disponíveis foram maiores no solo irrigado de águas residuárias. Contrariando o presente estudo, visto que apesar de conter altos teores desses nutrientes na AR em comparação com a de AA (tabela 1), a mesma não influenciou nos teores presentes no solo ao final do experimento.

Esses resultados podem ser explicados pela baixa concentração desses nutrientes na AR como observado na tabela 3. Além disso, essas pequenas quantidades aportadas ao solo ficam na camada superficial. Com relação aos altos teores de Na, na AR (tabela 1), a lâmina de irrigação aplicada foi pouca, o que provavelmente evitou grandes aportes no solo.

O teste de variância para Al e Acidez Potencial, mostrou-se não significativo tanto para tratamentos quanto blocos (Tabela 8).

Tabela 8 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Alumínio e Hidrogênio + Alumínio em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

	Al ³⁺	H+Al
FV	Pr > F	
TRAT	0.35 _{ns}	0.97 _{ns}
BLOCO	0.19 _{ns}	0.67 _{ns}
CV (%)	29.00	21.43
Contrastes	DMS	
T0 vs demais	-0,05 _{ns}	-0,31 _{ns}
T1 vs T2; T3	0,01 _{ns}	0,02 _{ns}
T2 vs T3	0,02 _{ns}	0,04 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo;

O mesmo foi observado quando realizado os contrastes entre os tratamentos. Vale salientar que é um resultado promissor, levando em consideração que altos teores de alumínio não são benéficos ao solo e a planta.

Em relação à CTC, soma de bases e saturação por bases (% V), verifica-se, na Tabela 9, que houve diferenças significativas no teste de variância apenas para tratamentos em soma de bases, o mesmo se repetiu nos contrastes, porém esse efeito também foi significativo para CTC.

Tabela 9 – Análise de variância e teste de contrastes em valores de Soma de bases, capacidade de troca catiônica e saturação por bases em Antropossolo sobre tratamentos com água de abastecimento (AA) e água residuária (AR) em diferentes lâminas.

	SB	CTC	V%
FV	Pr > F		
TRAT	0.09°	0.11 _{ns}	0.30 _{ns}
BLOCO	0.44 _{ns}	0.25 _{ns}	0.68 _{ns}
CV (%)	26.11	15.01	14.47
Contrastes	DMS		
T0 vs demais	1,78 _{ns}	1,45 _{ns}	10,87 _{ns}
T1 vs T2; T3	-0,93 _{ns}	-0,90 _{ns}	-4,64 _{ns}
T2 vs T3	-1,31°	-1,27°	-5,75 _{ns}

T0 = Antropossolo sem aplicação dos tratamentos; T1 = 500 ml/semanal de AA; T2 = 500 ml/semanal de AR; T3 = 1000 ml/semanal AR. ns = não significativo; ° Significativo a 10%.

Em relação à CTC verifica-se que as parcelas que receberam as doses de AR apresentam os maiores valores, quando comparadas com as parcelas que receberam AA (Tabela 4). Na comparação dos tratamentos com AR, o tratamento T3 foi o que apresentou o maior valor de CTC significativamente maior que o T2.

Os aumentos da CTC e a saturação por bases (% V) foram devidos ao aporte de cálcio e sódio presentes na composição química da água residuária. Essa justificativa é condizente com nossos resultados, visto que os teores de sódio e cálcio foram maiores na AR, em comparação com a de AA (Tabela 1). Observa-se o mesmo para a soma de bases, visto que os teores das bases também foram maiores na água residuária (Tabela 1).

Silva et al., 2013 observaram resultados semelhantes, onde os tratamentos que receberam as doses de água residuária apresentam os maiores valores de CTC, quando comparadas com a parcela que não as receberam. Aumentos na CTC também foram observados com aplicação de água residuária da bovinocultura (ERTHAL et al., 2010).

4.2- Crescimentos vegetativos da espécie forrageira e florestais

4.2.1- Palma forrageira

Tabela 10 – Quadro de variância das variáveis de Palma forrageira

Fonte de variação	Graus de Liberdade	ALT	NTC	CMC	ESC	LRC	PRC
Bloco	9	795,19**	21,18**	92,34**	0,24**	60,87**	496,83**
DAI (D)	4	25,97ns	1,133ns	2,50ns	0,37**	8,01ns	11,24ns
Tratamentos (T)	2	1075,99**	22,76**	184,22**	0,07*	165,98**	1777,24**
D x T	8	15,54ns	0,22ns	3,06ns	0,03ns	7,18ns	20,97ns
CV (%)		16,55	46,07	18,82	23,58	20,22	18,73

Altura de planta (ALT), número total de cladódios (NTC), comprimento médio do cladódio (CMC), espessura do cladódio (ESC), largura do cladódio (LRC), e perímetro do cladódio (PRC) em função dos dias após a aplicação de água residuária e abastecimento. DAI – Dias após irrigação. ** = significativo a (p <0,01).

De acordo com o análise de variância (quadro 1), houveram diferenças significativas apenas entre os tratamentos para todas as variáveis apresentadas. Não havendo interações (Tabela 11).

Tabela 11 – Médias (n= 10) das variáveis de crescimento da Palma forrageira em relação lâminas aplicadas.

Tratamentos	ALT (cm)	NTC (Num)	CMC (cm)	ESC (mm)	LRC (cm)	PRC (cm)
T1	32,609 c	3,11 b	19,20 b	0,587 b	13,725 b	44,39 b
T2	34,208 b	3,18 ab	19,43 ab	0,597 ab	13,905 ab	44,61 ab
T3	36,174 a	3,56 a	20,53 a	0,614 a	14,959 a	48,28 a

Letras diferentes representam diferenças significativas significativo a ($p < 0,01$) entre variáveis de crescimento e tratamentos aplicados. T1 – Água de Abastecimento 500 mL/semanais, T2 – Água residuária 500 mL/semanais e T3 – Água residuária 1000 mL/semanais.

As plantas que irrigadas com o tratamento com 1000 ml de água residuária semanalmente, responderam melhor em todas as variáveis, sendo maior na variável (altura) onde obteve uma média final de 36,174 cm. Essa diferença significativa entre as lâminas foi influenciada consequentemente pela maior disponibilidade de água residuária via irrigação no T3, pois além de ter um volume maior de água, a mesma era de caráter residuária, ou seja, com resíduos orgânicos na mesma. Lemos, 2016 observou o mesmo comportamento em seu trabalho, onde a aplicação de fertirrigação com água residuária possibilitou um aumento na altura da palma forrageira, principalmente no período mais seco, quando a cultura tem uma maior exigência de água.

Observa-se ainda que a aplicação de 500 ml semanal de água residuária é uma alternativa relevante, visto que comparado aos outros tratamentos não possuem diferença significativa entre as variáveis de NTC, CMC, ESC, LRC e PRC (Quadro 2). O que na falta de recursos, pode ser uma alternativa. Queiroz et al., 2015 em pesquisas com a mesma cultivar (orelha de elefante), encontraram maiores resultados de crescimento entre as lâminas de irrigação de 976 á 1048 ml, ainda segundo os mesmos houve uma tendência de diminuição dos valores de crescimento sob lâminas de irrigação superiores à faixa de 1048 e 1096 mm.

4.2.2- *Espécies Florestais*

No período de observação que foi de 12 meses do presente estudo não foi observado diferenças significativas em nenhuma das variáveis biométricas para a espécie florestal aroeira. No entanto, para espécie sabiá houve crescimento vegetativo, mas não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação às variáveis, altura total e diâmetro de base para a espécie sabiá encontrou-se resultados sem diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação

aplicados. No entanto, foram observados os maiores valores de altura total e diâmetro de base com 140 e 170 dias, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise de variância de altura total e diâmetro de base de espécie florestal (sabiá), sob irrigação de água residuária e de abastecimento.

FV	GL	Altura (cm)	DB (cm)
		Pr > F	
TRAT	2	0.92 _{ns}	0.20 _{ns}
erro	357		
CV (%)	45,88		

DB= Diâmetro de Base; ns = não significativo

Figura 8 – (A) - Altura de sabiá e (B) diâmetro de base em sistema agroflorestal irrigadas com diferentes lâminas e tipos de água.

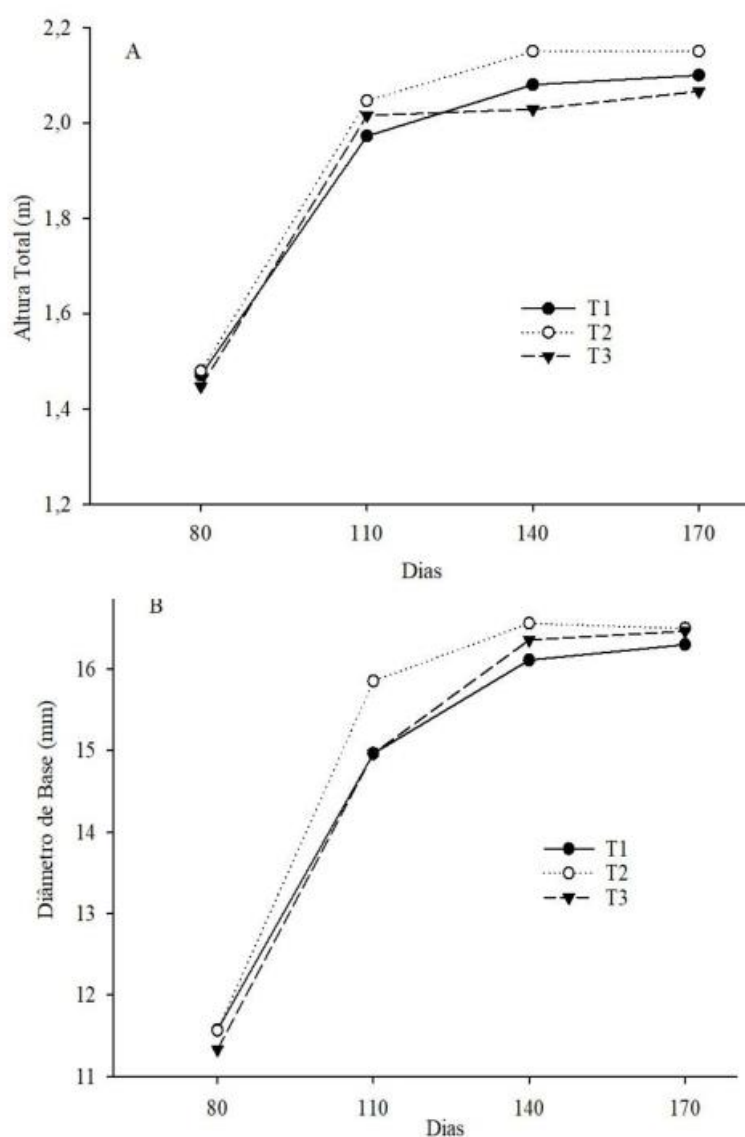


Figura 8 – T1 = 500 ml de água de abastecimento semanal, T2 = 500 ml de água residuária semana, T3 = 1000 ml de água residuária semanal.

A não influência dos tratamentos na altura da planta e diâmetro de base, tanto com água de abastecimento como com a água residuária, pode ser consequência da quantidade de água aplicada, que foi de 500 ml semanalmente em ambos os tratamentos. Isto pode ser coerente, visto que Rebouças et al 2018, em estudos com o uso de água residuária para crescimento de mudas de sabiá, observaram um resultado significativo linear na altura de plantas, porém as mesmas eram irrigadas 2 vezes ao dia em torno de 12 L diários. Outros autores constataram o aumento da altura com doses maiores de AR (CORDEIRO et al., 2018).

Em relação ao diâmetro da altura do peito, observou-se um crescimento linear, como mostra a figura 9, e com diferenças significativas entre os tratamentos. Onde observa-se maiores valores no tratamento com irrigação de 500 ml de água residuária semanalmente (Tabela 13).

Tabela 13 – Análise de variância de diâmetro da altura do peito de espécie florestal (sabiá), sob irrigação de água residuária e de abastecimento.

DAP (cm)		
FV	GL	Pr > F
TRAT	2	0.92*
erro	357	
CV (%)	45,88	
Teste de médias		
T1		7,95 ab
T2		8,49 a
T3		7,04 c

DAP = Diâmetro da altura do peito; * significativo a 5% de probabilidade. **Figura 8** – T1 = 500 ml de água de abastecimento semanal, T2 = 500 ml de água residuária semana, T3 = 1000 ml de água residuária semanal

Figura 9 – Diâmetro da altura de peito de sabiá em sistema agroflorestal irrigadas com diferentes lâminas e tipos de água.

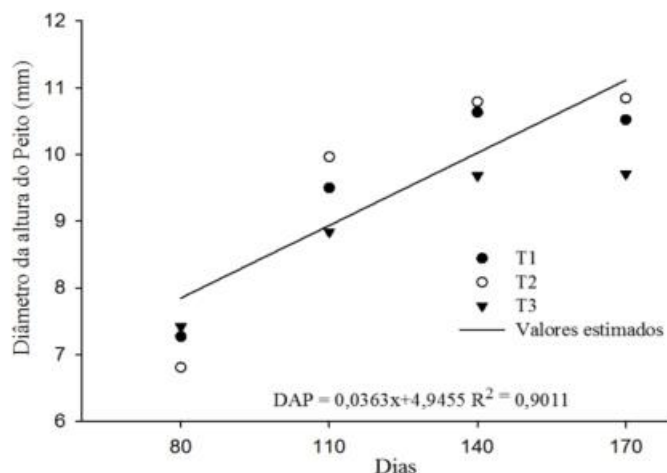


Figura 9 – T1 = 500 ml de água de abastecimento semanal, T2 = 500 ml de água residuária semana, T3 = 1000 ml de água residuária semanal

Alguns trabalhos relatam a não significância entre os tratamentos, tanto para Altura quanto para DB e DAP, atribuindo esses resultados a rápida perda de nutrientes nesse tipo de fertilização, visto que a uma rápida lixiviação dos mesmos quando se utiliza a fertirrigação (DA ROS et al., 2017). No entanto, não parece ser o caso do presente estudo, uma vez que os volumes aplicados foram muito baixos.

4.3 Experimento II

4.3.1- Respiração basal do solo (RBS)

A respiração basal do solo, sob as espécies sabiá e palma forrageira, não foi afetada significativamente pela irrigação, no que refere ao volume e ao tipo de água aplicado (Tabela 14).

Tabela 14 – Análise de variância da respiração basal acumulada de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.

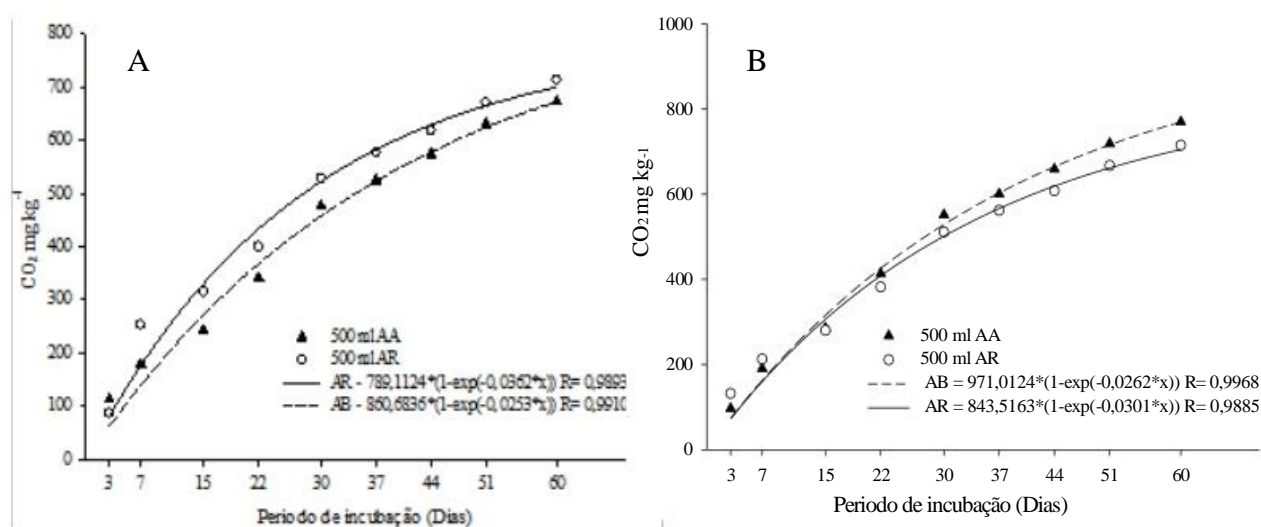
RBS - Palma Forrageira			
FV	GL	Fc	Pr > Fc
Tratamentos	1	0,189	0,6643 ns
Residuo	106		
Total	107		

RBS - Sabiá (<i>Mimosa ceasalpinifolia</i> Benth)			
Tratamentos	1	0,486	0,4871 ns
Residuo	106		
Total	107		

*Significativo a 5% de probabilidade; ns = Não significativo.

Apesar de não haver diferenças significativas entre os tratamentos, observa-se na regressão quadrática que no solo localizado na área de plantio de palma forrageira com aplicação de 500 ml de AR semanalmente, obteve uma taxa acumulativa de respiração basal maior comparada ao tratamento com AA.

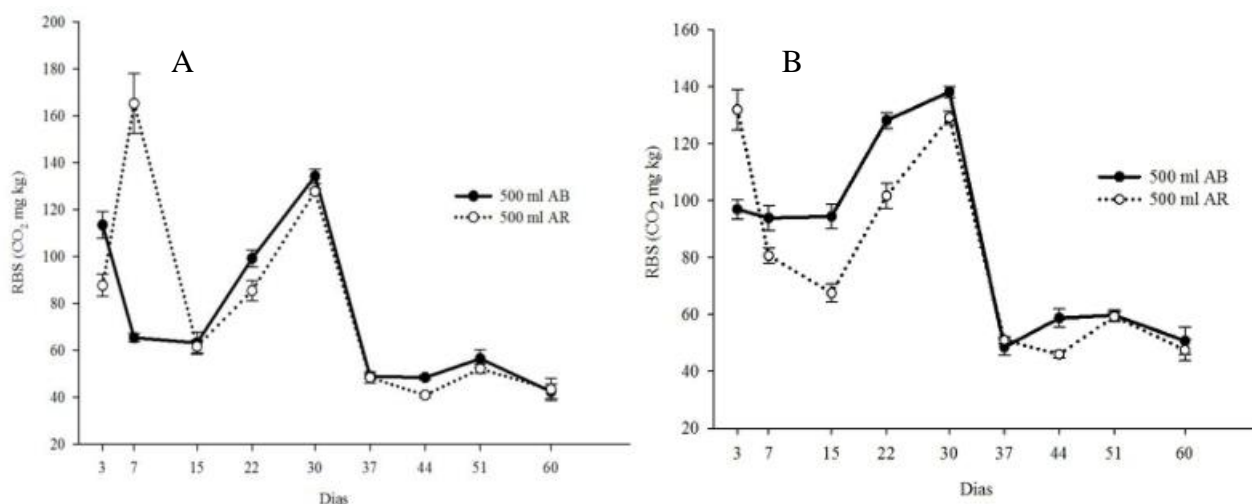
Figura 10 – Gráficos de respiração basal acumulada de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.



A- Respiração basal e acumulada em Antropossolo sob área de palma forrageira; B - Respiração basal e acumulada em Antropossolo sob área de sabiá. AA – Água de abastecimento, AR – Água residuária.

Segundo alguns autores, efluentes de esgoto doméstico tratado estimulam a atividade microbiana, possivelmente aumentando a respiração basal (Simões et al., 2013). Em contrapartida a respiração basal acumulativa se observa uma diminuição do CO_2 respirado em função do tempo de incubação em ambas as vegetações (Figura 11).

Figura 11 – Gráficos mensais de respiração basal de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.



AB – Água de abastecimento; AR – Água residuária.

O fato de não haver significância pode ser justificado pela aplicação de sais ao solo provenientes da AR (Tabela 1). Santos et al (2011), observaram que os sais da água residuária influenciou negativamente na atividade dos biológica do solo, e consequentemente na mineralização da matéria orgânica e liberação de CO₂. Quando comparados às médias em ambas as vegetações (palma forrageira e sabiá), as maiores taxas de CO₂ respirado foram com 30 dias (Figura 11).

Tabela 15 – Teste de médias da respiração basal acumulada de um Antropossolo com plantio de sabiá e palma forrageira, sob diferentes tipos de irrigação durante 60 dias de incubação.

Tratamentos	RBS - Palma Forrageira	RBS - Sabiá
500 ml água abastecimento	7.47 a	8.55 a
500 ml água residuária	7.92 a	7.94 a

4.3.2- Carbono da biomassa microbiana (CBM)

De acordo com o teste de variância a 10% de probabilidade observa-se que houve diferenças significativas para tipo de vegetação (Tabela 12).

Tabela 16 – Tabela de variância para carbono da biomassa microbiana em Antropossolo sob irrigação com água residuária.

	Gl	Fc	Pr>Fc
TRAT	1	0,083	0,776 ns
VEG	1	3,18	0,090 °
Vegxtrat	1	0,93	0,347 ns
Resíduos	19		
CV (%) =	67,12		

ns = não significativo; ° significativo a 10%

A falta de interação e de significância entre tratamentos pode ser decorrente dos poucos tratamentos utilizados no experimento, onde foram testadas as diferenças entre as águas. AA – Água de abastecimento e AR – Água residuária no mesmo nível de lâmina, 500 ml semanal.

Os valores de CBM, não diferiram entre si para tratamentos, isso indica que não houve influência do tipo e da lâmina de água na atividade microbiana do solo (Figura 10).

Figura 12 – Gráfico de carbono da biomassa microbiana (CBM) em Antropossolo em plantio de palma forrageira e espécie florestal (sabiá), sob diferentes tipos de irrigação.

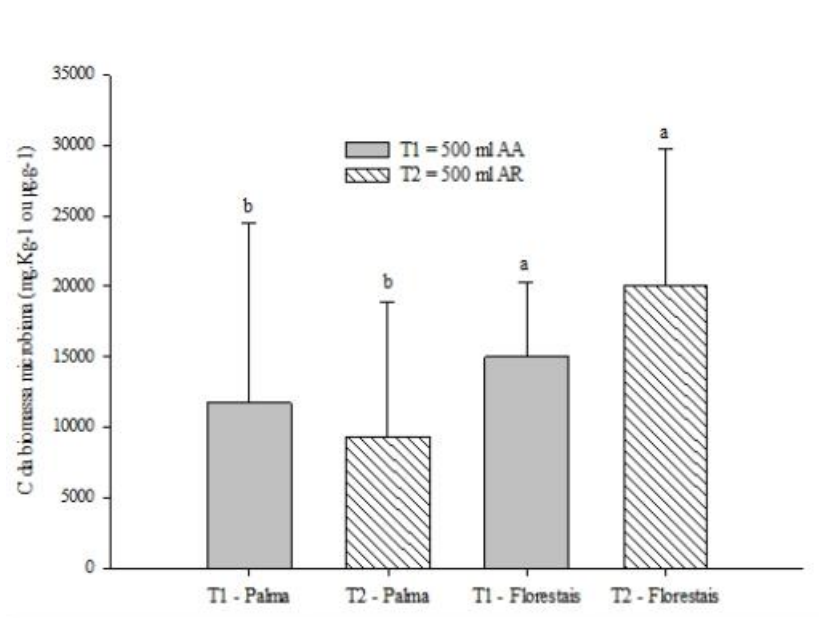


Figura 12 - AA – Água de abastecimento; AR – Água residuária.

Na comparação do carbono da biomassa do solo sob as vegetações, obteve-se uma significância entre elas, sendo que a maior quantidade de carbono da biomassa microbiana foi encontrada na área com a sabiá. Por conter um maior sistema radicular, o efeito desses maiores teores de CBM pode ser resultado da liberação de exsudatos orgânicos da própria

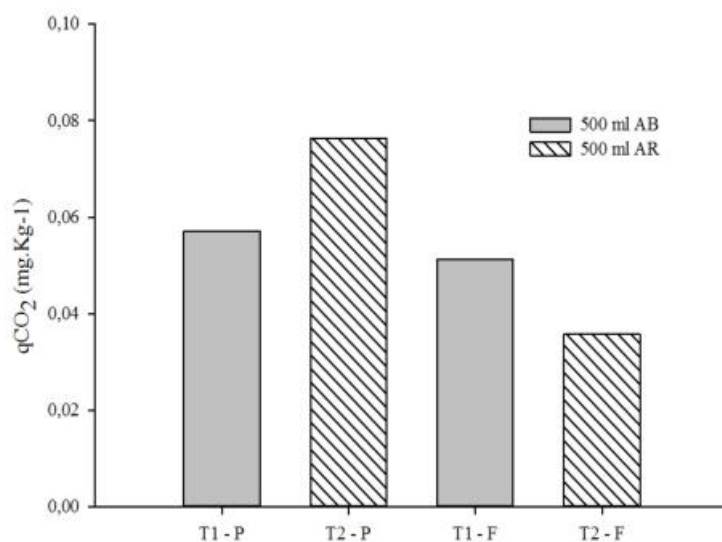
raiz. Além disso, o aporte de material vegetal da sabiá ao solo é maior, consequentemente decomposto com o tempo e se transformando em matéria orgânica do solo, servindo de suporte para melhor atuação dos microrganismos no mesmo e consequentemente um maior valor de carbono da biomassa. Com isso a biomassa microbiana do solo, se torna um componente muito importante da matéria orgânica do solo, uma vez que a mesma é constituída por 2 a 5% de carbono orgânico e tem uma grande relevância na ciclagem de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica (BARGALI et al 2018).

Valores elevados de C-BMS indicam que os nutrientes ficam imobilizados temporariamente, o que resulta em menores perdas dos nutrientes no sistema solo-planta nesses ambientes (ROSCOE et al., 2006).

4.3.3- Quociente metabólico (qCO_2)

Para a variável quociente metabólico (qCO_2) não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Figura 12)

Figura 13 – Quociente metabólico de Antropossolo sob plantio de palma forrageira e sabiá, sob diferentes tipos de irrigação.



AB – Água de abastecimento; AR – Água residuária. P – Solo localizado na área com Palma Forrageira; F – Solo localizado na área com Florestal (Sabiá)

Porém, elevados valores de qCO_2 , como os observados neste estudo, indicam que pode estar ocorrendo maior gasto de energia para a manutenção da comunidade microbiana, ou seja, devido a uma situação de estresse ou distúrbio, no solo os

microrganismos poderão ter que consumir mais substrato para sua sobrevivência (CARNEIRO et al., 2008; SILVA et al., 2010; GOMIDE et al., 2011). Outra explicação para este resultado pode estar associada ao fato de que quocientes metabólicos elevados são indicativos de comunidades microbianas em estágios iniciais de desenvolvimento e com maior proporção de microrganismos ativos em relação aos inativos (ROSCOE et al., 2006). O que é observado no tratamento com água de reuso no solo em área com palma (figura 12), levando em consideração que essa área está recebendo água com resíduos orgânicos, e esses são fontes de nutrientes para microbiota consequentemente a uma maior atividade da mesma nesse tratamento.

5- CONCLUSÕES

Em relação às propriedades químicas do solo a água residuária promoveu aumento no pH, passando de uma classificação de acidez fraca a acidez média. Houve também aumento na matéria orgânica do solo, mostrando ser uma alternativa promissora para a recuperação da capacidade produtiva do solo, principalmente pelo incremento da MOS.

No crescimento vegetativo, a palma forrageira sobressaiu melhor no tratamento com maior lâmina de água residuária. Já a sabiá não obteve respostas significativas.

As propriedades biológicas do solo: respiração basal, carbono da biomassa e quociente metabólico não foram influenciadas diretamente pelos tratamentos, apenas entre os tipos de vegetação. Sobressaindo a florestal, possivelmente pela liberação de exsudados orgânicos das raízes e resíduos orgânicos da própria planta, para a condição experimento.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013.

APHA. A.W.W.A.W.P.C.F. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 15 ed. Washington, DC. American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, p. 1134. 1998.

BAGGIO A. J. Aroeira como potencial para usos múltiplos na propriedade rural. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 17, p.25-32, dez. 1988.

BALDASSARINI, J.S.; NUNES J.O.R. A intervenção em prol da recuperação de áreas degradadas por erosão hídrica na microbacia hidrográfica da água três unidos no município de vera cruz – sp. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n.36, p. 174-190, 2014.

BALSAN, R. Impactos decorrentes da modernização da agricultura brasileira campo-território: **Revista Geografia Agrária**, v.1, n.2, p.123-151, 2006.

BARDHAN, G; RUSSO, D; GOLDSTEIN, D; e LEVY, GJ. Changes in the hydraulic properties of a clay soil under long-term irrigation with treated wastewater. **Geoderma**, vol. 264, pag. 1-9. 2016. doi: 10.1016 / j.geoderma.2015.10.004

BARGALI. K., MANRAL. V., PADALIA. K., BARGALI S.S., UPADHYAY V.P. Effect of vegetation type and season on microbial biomass carbon in Central Himalayan forest soils, India. **Catena**, vol. 171, p. 125-135, 2018.

BARRETO, A.C.; LIMA, F.H.S.; S. FREIRE, M.B.G. dos.; ARAÚJO, Q.R. de.; FREIRE, F.J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, vol. 19, n 4, pp. 415-425, dezembro, 2006.

BARRUTIA, O., GARBISU, C., EPELDE, L., SAMPEDRO, M.C., GOICOLEA, M.A., BECERRIL, J.M. Plant tolerance to diesel minimizes its impact on soil microbial characteristics during rhizoremediation of diesel-contaminated soils. **Rev. Science Total Environ.** Vol. 409, pp .4087-4093, 2011.

BORUAH, D., HAZARIKA, S. Normal water irrigation as an alternative to effluent irrigation in improving rice grain yield and properties of a paper mill effluent affected soil. *J. Environ. Sci. Eng.* Vol 52, n 3, pp. 221–228, July 2010

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento Exploratório e de Reconhecimento dos Solos do Estado da Paraíba.** Boletim 15, Série Pedologia, 8, Rio de Janeiro: 1972.

BUTENSCHOEN, O.; SCHEU, S. & EISENHAUER, N. Interactive effects of warming, soil humidity and plant diversity on litter decomposition and microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, vol. 43, n. 9, p. 1902-1907. 2011.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrosilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.759-764, 2006.

CANDIDO, H.G.; BARBOSA, M.P.; SILVA, M.J. da. Avaliação da degradação ambiental de parte do Seridó Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.368-371, Campina Grande – PB, 2002.

CARNEIRO, M.A.C.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.D.S. e SOARES, A.L.L (2008) - Carbono orgânico, nitrogênio total, biomassa e atividade microbiana do solo em duas cronossequências de reabilitação após a mineração de bauxita. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, p. 621-632

CARNEIRO, R.F.V.; JÚNIOR, F.M.C.; PEREIRA, L.F., ARAÚJO, A.S.F.; E SILVA, G.A. Fungos micorrízicos arbusculares como indicadores da recuperação de áreas degradadas no Nordeste do Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 648-657, 2012.

CARVALHO, P. E. R.; Sabiá-Mimosa *caesalpiniifolia*. **Embrapa Florestas-Circular Técnico (INFOTECA-E)**, 2007

CORRÊA, R.M.; FREIRE, M.B.G dos S.; FERREIRA, R.L.C.; FREIRE, F.J.; PESSOA, L.G M.; MIRANDA, M.A.; MELO, D.V.M de. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 33, n. 2, p. 305-314, abril, 2009.

CHECOLI, B.C.H.; SHIRAIWA, S.; SILVA, M.C. da.; SILVA, N.M. da. Gestão participativa na recuperação de área degradada pela agricultura. **Sociedade & Natureza**, vol. 28, núm. 1. p. 117-130, abril, 2017.

CORONADO, A.M.; ORENES, G.F.; SOLERA, M.A.; ARCENEGUI, V.; JORGE, M.B. Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil. **Soil & Tillage Research**, p. 18-26, 2011

CURCIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. *Antropossolos: Proposta de Ordem (1ª aproximação)*. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2004.

DIAS, N.S.; LIRA, R.D.; BRITO, R.D.; SOUSA NETO, O.N.; FERREIRA NETO, M.; & OLIVEIRA, A.D.; Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 755-761, 2010.

DOETTERL, S; BERHE, A. A; NADEU, E; WANG, Z; SOMMER, Z; FIENER, P. Erosion, deposition and soil carbon: A review of process-level controls, experimental tools and models to address C cycling in dynamic landscapes. **Earth-Science Reviews**. 145, p.102-122. 2016

DONAGEMMA, G. K. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, p. 230, 2011.

ELFANSSI, S; OUAZZANI, N; MANDI, L; Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated by treated domestic wastewater. *Agricultural Water Management*. Vol 202, pág. 231–240, February 2018.

DA ROS, C. O.; REX, F. E.; RIBEIRO, I. R.; KAFER, P. S.; RODRIGUES, A. C.; SILVA, R. F.; SOMAVILLA, L. Uso de substrato compostado na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* e *Cordia trichotoma*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.22, n. 4, p. 549 558, 2015.

DUBEX, JR., J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L) Miller under different N and P fertilizations and plant population in north east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, n.3, p.357-372, 2006.

ELLERTL, B.H.; BETTANY2 D.J. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Can. J. Soil Sci.** 75: 529-538, 1995.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª edição p. 353, Brasília, 2013.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária da bovinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467- 477, 2010.

FARHADKHANI, M., NIKAEEN, M., YADEGARFAR, G., HATAMZADEH, M., POURMOHAMMADBAGHER, H., SAHBAEI, Z., & RAHMANI, H.R. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. **Water Research**, 144, 356-364. 2018.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: **Springer-Verlag**. 1991. pag. 233. 1991.

FIORI, M.G.S.; SMANIOTTO, A.; MALMANN, L.; DIETER, J.; SAMPAIO, S.C.; NOBREGA, L.H. Modificações na densidade do solo cultivado com milho frente ao uso de água residuária da suinocultura. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 36, Bonito: SBEA, 2007.

FRENK, S., HADAR, Y., MINZ, D. Resilience of soil bacterial community to irrigation with water of different qualities under Mediterranean climate. **Environmetal Microbiology** 16, 559–569, 2014.

FRIEDEL, J.K., LANGER, T., SIEBE, C., STAHR, K. Effects of long-term waste water irrigation on soil organic matter, soil microbial biomass and its activities in central Mexico. **Biol. Fertil. Soils**. vol. 31, pag. 414–421, 2000.

GALENDE, M.A., BECERRIL, J.M., BARRUTIA, O., ARTETXE, U., GARBISU, C., Hernandez, A. Field assessment of the effectiveness of organic amendments for aided phytostabilization of a Pb - Zn contaminated mine soil. **Journal of Geochemical Exploration**. Vol. 145, pp. 181-189, 2014.

GARCÍA-ORENES, F.; CARAVACA, F.; MORUGÁN-CORONADO, A.; ROLDÁN, A. Prolonged irrigation with municipal wastewater promotes apersistent and active soil microbial community in a semiarid agroecosystem. **Agricultural Water Management**, p. 115-122, 2014

GOMIDE, P.H.O.; SILVA, M.L.N; SOARES, C.R.F.S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 35, n. 2, p. 567-577. 2011

GANS, J., WOLINSKY, M., DUMBAR, J. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science* (New York, N.Y.) 309, 1387–1390. 2005

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de recursos hídricos**, v. 7, n 4, p. 75-95, 2003

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. 2014

JORGE, V.S.; SOUZA, F.N da S. Avaliação de diferentes estratégias de uso de agrominerais na recuperação de áreas degradadas e na produção da pastagem. **Agri-environmental sciences**, [s.l.], v. 1, n. 2, junho 2016.

JOHNS, G. G.; MCCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.45, p.1619-1638, 1994.

LACERDA, P.M de.; RODRIGUES, R.F.; JÚNIOR, H.A.N.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A.S de L. Influência da irrigação com águas residuárias no desenvolvimento de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 159-168, abr./jun. 2011.

LARA, C.L. Avaliação De Custo Para Recuperação De Área Degradada: Estudo De Caso Bisnau. 2016. 27 f. TCC (Graduação), Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina, 2016.

LEMOS, Marcílio de. **Uso de esgoto doméstico tratado na produção de palma forrageira em assentamento rural do semiárido Brasileiro**. Mossoró-RN, Universidade Federal do Semiárido, Julho de 2016. 244p. Tese. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água no Semiárido.

LEGUÉDOIS, S. & S.; GEOFFROY & AUCLERC, APOLLINE & CORTET, JÉRÔME & HUOT, HERMINE & OUVARD, STÉPHANIE & WATTEAU, FRANÇOISE & SCHWARTZ, CHRISTOPHE & MOREL, JEAN-LOUIS. Modelling pedogenesis of Technosols. **Geoderma**. Vol 262, pag 199-212, 2016.

LEHMANN A. Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World Reference Base for Soil Resources). **International agrophysics**, vol. 20(2), pag. 129-134. Germany, 2006.

LI, XIAOLIANG.; LIU, FULAI.; LI, GUITONG.; LIN, QIMEI.; JENSEN, CHRISTIAN R. Soil microbial response, water and nitrogen use by tomato under diferente irrigation regimes, **Agricultural Water Management**, p. 414–418, 2010

LIMA, P.C.F. **Áreas degradadas: métodos de recuperação no semi-árido brasileiro**. In XXVII Reunião Nordestina de Botânica. Petrolina, março de 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 3ed, v.1. 351p, 2000.

LOZANO-GARCÍA, B.; MUÑOZ-ROJAS.; MIRIAM, P.A.L. Climate and land use changes effects on soil organic carbon stocks in a Mediterranean semi-natural area. **Science of the Total Environment**. v. 579, p. 1249-1259, fevereiro, 2017.

MARTINS, E. L. **Variabilidade Espacial de Atributos Físicos e Químicos de um Antropossolo Decapítico com Aplicação de Água Residuária Tratada**. Areia, 2017, 70p. Tese, Programa de Pós-Graduação em ciência do Solo, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba.

MAVI, M. S.; MARSCHNER, P.; CHITTLEBOROUGH, D. J.; COX, J. W.; SANDERMAN, J. Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 45, n. 1, p. 8-13, 2012.

MEDEIROS, S. S; SOARES, A. A; FERREIRA, A. P; NEVES, J.C.L; MATOS, A. T de; SOUZA, J. A. A de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MECHRI, B., ECHBILI, A., ISSAOUI, M., BRAHAM, M., ELHADJ, SB, e HAMMAMI, M. Short-term effects in soil microbial community following agronomic application of olive mill wastewaters in a field of olive trees. **Applied Soil Ecology**, vol, 36 (2-3), pag. 216-223. 2007. doi: 10.1016 /j.apsoil.2007.03.005

MONTENEGRO, A.A.A.; ABRANTES, J.R.C.B.; LIMA, J.L.M.P. de.; SINGH, V.P.; SANTOS, T.E.M. Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. **Revista Catena**, v. 109, p. 139–149, 2013

MOUNZER, O., PEDRERO-SALCEDO, F., NORTES, P.A., BAYONA, J.M., NICOLÁS-NICOLÁS, E., ALARCÓN, J.J. Transient soil salinity under the combined effect of reclaimed water and regulated deficit drip irrigation of mandarin trees. **Agr. Water Manage.** 120, 23–29. 2013

MUNOZ-LEOZ, B., GARBISU, C., ANTIGÜEDAD, I., RUIZ-ROMERA, E. Fertilization can modify the non-target effects of pesticides on soil microbial communities. **Revista Soil Biology & Biochemistry**. v. 48, pp 125-134, 2012.

NASCIMENTO, J. S. dos; FILHO, J. F; Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 36 – 45, 2015.

NOFFS, P.S.; GALLI, L.F.; & GONÇALVES, J.C. Recuperação de áreas degradadas da mata atlântica: Uma experiência da CESP - Companhia Energética de São Paulo. (Caderno, 3). Disponível em: http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/rec_20areas_20mata_20atlantica.pdf > Acesso em: 28/08/2017.

NOGUEIRA, N.O.; OLIVEIRA, O.M de.; MARTINS, C.A da S.; BERNARDES, C. de. O. Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia biosfera**. Goiânia, v.8, N.14; p. 2121, 2012.

OLATUYI, S. O.; AKINREMI, O. O.; FLATEN, D. N. & CROW, G. H. Accompanying cations and anions affect the diffusive transport of phosphate in a model calcareous soil system. *Canadian Journal of Soil Science*, v. 89, p. 179-188, 2009.

OLIVEIRA, J, F. de et al. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*). **Revista de Ciências Agrárias**, vol.42, n.1, pp.151-160. Portugal, 2019.

OLIVEIRA, P. C. P; GLOAGUEN, T. V, GONÇALVES, R. A. B; SANTOS, D. L; COUTO, C. F. Soil chemistry after irrigation with treated wastewater in semiarid climate. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, n. 1, p. 1-13, 2016.

PEREIRA, C, E; ORNELAS, R, B; SÁ, P, F, G. de ... In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Trabalhos técnicos. Rio de Janeiro, ABES, 1997. p.6. Apresentado em: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 19ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 2 - FITABES'97, Foz do Iguaçu, 14-19 set. 1997

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A de M.B.; MEDEIROS, S.S de.; TINÔCO. L.B de M.; SALCEDO, I.H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Revista Parcerias Estratégicas**. v. 17, n. 34, p. 87-106. Brasília-DF, 2012.

PEDRERO, F., MAESTRE-VALERO, J.F., MOUNZER, O., ALARCÓN, J.J., NICOLÁS, E. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agr. Water Manage.* 146, 228–237. 2014

PROSDOCIMI, M.; JORDÁN, A.; TAROLLI, P.; KEESSTRA, S.; NOVARA, A.; CERDÀ, A. The immediate effectiveness of barley straw mulch in reducing soil erodibility and surface runoff generation in Mediterranean vineyards. **Science of the Total Environment**, v. 547, p. 223 – 330, março 2016.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.10, p.931–938, 2015.

RAMIREZ-FUENTES, E., LUCHO-CONSTANTINO, C., ESCAMILLA-SILVA, E., DENDOOVEN, L. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. **Bioresource Technology**. Vol. 85, pag. 179–187, 2002.

REBOUÇAS, J.R. L.; NETO, M. F.; DIAS, N. A.; GOMES, J. W. S.; GURGEL, G. C. de S.; QUEIROZ, I. S. R. Qualidade de mudas de Sabiá irrigadas com efluente doméstico. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 48, n. 2, p. 173-182, 2018.

RODRIGUES, L. N.; NERY, A.R.; FERNANDES, P. D.; BELTRÃO, N. E. de M.; GHEYI, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, p.825–835, 2009.

KHAI, N.M; PHAM, T. T. A. I Effects of using wastewater as nutrient sources on soil chemical properties in periurban agricultural systems. **VNU Journal of Science, Earth Sciences**. Hanoi. p.87-95. 2008.

RODRIGUES, N.G. Custo para recuperar uma área degradada: um projeto para a cascalheira do Parque Sucupira. 2016. 19 f. TCC (Graduação) - Curso de Gestão Ambiental, Universidade de Brasília, Planaltina, 2016.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; MENDES, I.D.C.; REIS JÚNIOR, F.B.; SANTOS, J.C.F. e HUNGRIA, M. (2006) – Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: Roscoe, R.; Mercante, F.M. e Salton, J.C. (Eds.) – **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados, Embrapa, p. 163-198.

SAMPAIO, Thalita Fernanda et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1637-1645, novembro 2012.

SANTOS, D.C. dos.; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M.V.F. dos.; ARRUDA, G.P. de.; COELHO, R.S.B.; DIAS, F.M.; MELO, J.N. de. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. p. 48, Recife IPA 2006.

SANDRI, D; ROSA, R. R. B; Atributos químicos do solo irrigado com efluente de esgoto tratado, fertirrigação convencional e água de poço. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 18-33, 2017.

SANTOS, P.L.; FERREIRA, R.A.; ARAGÃO, A.G de.; AMARAL, L.A.; OLIVEIRA, A.S. Estabelecimento de espécies florestais nativas por meio de semeadura direta para recuperação de áreas degradadas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.237-245, 2012.

SANTOS, K.C.F.; SILVA, M.S.L.; SILVA, L.D.; MIRANDA, M.A. & FREIRE, M.B.G.S. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex numularia*. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, n. 3, p. 619-627, 2011.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® University Edition**, User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2016.

SILVEIRA, L.P. da.; SOUTO, J.S.; DAMASCENO, M.M.; MUCIDA, D.P.; PEREIRA, I.M.; Poleiros artificiais e enleiramento de galhada na restauração de área degradada no Semiárido da Paraíba, Brasil. **Revista Nativa**, v. 03, n. 03, p. 165-170, setembro 2015.

SILVA, J. G. D.; CARVALHO, J. J.; LUZ, J. M. R.; SILVA, J. E. C. Fertigation with domestic wastewater: uses and implications. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 15, n. 20, pag 806-815, 2013.

SILVA, E. E. da, UFRRJ; AZEVEDO, P. H. S de; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 2007.

SIMÕES, K da S. et al. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 5, 2013.

SIGMAPLOT 13.0. Programa. Disponível em:
<http://www.sigmaplot.com/products/sigmaplot/sigmaplot-details.php>.

SOUZA, M.C.S.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; CASAGRANDE, J.C.; SILVA, S.F da.; SCORIZA, R.N. Funcionalidade ecológica de sistemas agroflorestais biodiversos: Uso da

serapilheira como indicador da recuperação de áreas de preservação permanente. **Revista Floresta**, v. 46, n.1, p. 75-82, março, 2016.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: Methods of soil analysis. Madison: **America Society of Agronomy**. v.2, n.1, p.1551-1572, 1965.

TAVARES, S.R de L. Recuperação de áreas degradadas e/ou contaminadas: um Desafio para as ciências agrárias. In: Simpósio de ciências agrárias da amazônia, 2., 2015, Santarém. Uso sustentável dos solos: um desafio para as ciências agrárias: anais. UFOPA, 2015, Santarém, Anais (online). Disponível em <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135247/1/2015-090.pdf> Acesso em 28/08/2017.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A. & TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 573 p. 2017.

VARALLO, A.C.T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.372–377, 2010.

VILELA, E. F; SÁ MENDONÇA, E. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 354-363. Lavras, 2013.

XU, J; WU, L; CHANG, C. A; ZHANG, Y. Impact of long - term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 183, n. 13, p. 780-786, 2010.

7.0 ANEXOS

Regressão quadrática de (A) - Altura de sabiá e (B) diâmetro de base em sistema agroflorestal irrigadas com diferentes lâminas e tipos de água.

